NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 08757562 1

Dallwitz-Weeks

VDW

Der praktische Luftschiffer.

Eine geschichtliche und technische Übersicht
über den Stand der Luftschiffahrt und eine Entwicklung
ihrer physikalischen und technischen Bedingungen.

Von

Dr. R. Wegner von Dallwitz
Physiker und Dipl.-Ingenieur.

Mit 42 Abbildungen.

Rostock i. M.
C. J. E. Volckmann Nachfolger (E. Wette).
1909.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
458878
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R 1909 L

Das Übersetzungsrecht, sowie alle Rechte aus dem Gesetz vom 19. Juni 1901 sind vom Verlage vorbehalten.

Copyright
1909
C. J. E. Volckmann Nachfolger (E. Wette)
Rostock i. M.

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

Greifswald.
Druck von Julius Abel.
1909.

Meinem Vater

in grösster Verehrung dargebracht.

Vorwort.

Auf dem Gebiete der Ballon-Luftschiffahrt ist es bei uns in Deutschland recht lebendig geworden; man kann wohl sagen, dass Deutschland auf diesem Zweige der Luftschiffahrt die Führung vor allen andern Nationen übernommen hat. Mit grosser Energie wird bei uns namentlich am Ausbau der Motorballons gearbeitet; riesige Luftschiffe bauen wir der Welt vor, wie die Reichs-Z-Luftschiffe, den Schütte-Lanz und den Siemens-Schuckert-Motorballon, die alle ihre Wurzel in den Arbeiten unseres Zeppelin haben, aber auch die kleineren Typen der Basenachs und Parsevals sind in Deutschland in vorbildlichen Exemplaren vertreten. Nur für ganz kleine Sportsluftschiffe scheint bei uns das praktische Interesse zu fehlen, ihre Heimat ist mehr Frankreich mit seiner reichen Sportsgemeinde.

In der vorliegenden Schrift will ich nun versuchen, einem weiteren Leserkreise das Werden der modernen Luftschiffe, sowohl der Luftballons wie der Motorballons und ihrer Abarten darzulegen, ich möchte zeigen, welche Wege das Problem gegangen ist, und wohl weiter gehen wird, immer durch die Hände einzelner Menschen hindurch, die mit den Mitteln, die ihre Zeit ihnen bot, ihre Lebensaufgabe, das Luftschiff, zu fördern suchten.

Daneben will ich aber auch eine Anleitung geben, wie man mit den einfachsten matematischen Mitteln, die sich unmittelbar aus einer unbefangenen Betrachtungsweise des Problems in seiner Stellung zu den einfachen Gesetzen der Mechanik ergeben, tiefer in die mechanischen Gesetze der Luftschiffahrt eindringen kann.

Zu der Frage: ob den Motorluftschiffen, oder den Flugschiffen, den reinen Flugmaschinen „schwerer als Luft" die Zukunft gehört, soll hier nicht Stellung genommen werden. Beide Arten von Fahrzeugen haben mit äusseren Betriebsschwierigkeiten, Betriebsgefahren zu kämpfen, die zum Teil nicht vermeidbar sind, was von Konstrukteuren, die aktiv in die Entwicklung einer der beiden Luftschiffarten eingegriffen haben, in entschuldbarer Weise oft übersehen wird. Jede impulsive Tätigkeit beruht ja auf einer gewissen Einseitigkeit. Wenn aber die vorliegende Schrift dem Leser Verständnis für den Kern, für die Idee der Motorluftschiffahrt vermitteln kann, so wird er sich selbst ein begründetes Urteil in dieser Frage bilden können.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Übersicht über die Luftschifftypen:

Luftfahrzeuge 1
Luftschifftypen 2
Zur Geschichte des Luftballons 2
Der moderne Luftballon 6
Registrierballons 18
Moderne Montgolfièren 20
Fesselballons 22
Luftbahn 29
Die Motorballons 32
Das deutsche Motorballonsystem (das starre System) 37
Das französische Motorballonsystem (das halbstarre System) 42
Das Parseval-Motorballonsystem 53

II. Die statischen Verhältnisse der Luftschiffe:

Der Auftrieb verschiedener Gasarten 60
Ballon-Standhöhe und Barometerstand 62
Berechnung der Standhöhe resp. Steighöhe von Luftballons ohne Ballonet 65
Die Insolation 68
Beispiele von Steighöhenbestimmungen: 69
1. Der Stand des Ballons nach dem ersten Anlauf 71
2. Die Standhöhe, wenn sich das Traggas auf die Temperatur der Umgebung erwärmt hat 72
Beeinflussung der Standhöhen durch Änderung des Zustandes der Atmosphäre: 74
1. Der Einfluss allgemeiner Erniedrigung der Temperatur . . . 75
2. Der Einfluss allgemeiner Erhöhung der Temperatur 77
3. Einfluss des Aufhörens der Insolation 77
4. Der Einfluss von Änderungen des Barometerstandes 78
Die Berechnung des Ballonets 79
Die Traggase der Luftschiffe: 84
1. Chemische Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff 84
2. Elektrolytische Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff . . 87
3. Mechanische Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff . . . 89
4. Die Aufspeicherung von Wasserstoff 91
Flüssiges Traggas als Ballast 94

Das Baumaterial der Luftschiffe: Seite
1. Ballonstoffe 96
2. Zugfestigkeit von Drähten 99
3. Zugfestigkeit von Kabeln 100

III. Die dynamischen Verhältnisse der Motorballons.

Motorstärke, Treibarbeit. Treibschrauben und ihr Wirkungsgrad . . 101
Beispiel einer Luftschiffbestimmung 104
Die dynamischen Eigenschaften einiger bekannter Luftschiffe 106
Die analytische Berechnung des Luftwiderstandes 107
Was verstehen wir unter der Fluggeschwindigkeit V? 109

Anhang. Die Briggschen Logarithmen 110

Alphabetisches Sachregister.

	Seite
Abblaseventil	9
Amerikanischer Armee-Ballon	53
Anker	12
Appendix	10
Äqnatorgurt	10
Archibald's Drachenballon	25
Assmann's Registrierballon	19
Aufspeicherung von Wasserstoff	91
Aufstieghöhe	66
Auftrieb	60
Ausflnss der Traggase	8
Baldwin's Motorballon	53
Ballast	12
Ballon captiv	29
Ballonet-Berechnung	79
Ballonet der Drachenballons	28
Ballonet-Erfindung	6
Ballonet, modernes	14
Ballonform (Motorballon)	45
Balloninhalt	7
Ballonstoff	96
Barometerstand	62
Basenach's Motorballon	49
Banmgarten's Motorballon	35
Blitzableiter (Lnftballon)	15
Blitzableiter (Drachenballon)	28
Charles's Versuche	4
Chemische Wasserstoffgewinnung	89
Deutscher Armee-Ballon	49
Deutsches Motorballonsystem	37
Drachenballons	24
Elektrische Wasserstoffgewinnung	87
Englischer Armee-Ballon	53
Evaknierte Metallballons	3
Fesselballons	22
Festigkeit von Ballonmaterial	99
Fluggeschwindigkeit	106, 109
Flngschiffe	1
Flüssiger Wasserstoff	93
Flüssiger Wasserstoff als Ballast	94
Französisches Motorballonsystem	42
Französischer Registrierballon	20
Gaede's Fesselballon	25
Gase für Ballons	62
Geschwindigkeit (Motorballons)	106
Giffard's Motorballon	33
Gondel für Motorballons	59
Grössenwahl (Lnftballon)	18
Halbstarres Motorballonsystem	42
Hänlein's Motorballon	34
Hervé's Motorballon	48
Höhenberechnung	64
Insolation	68
Instrumente für Luftschiffe	18
Juillot-Lebaudy Motorballons	47
Kabelbefestigung	29
Kabelfestigkeit	100
Korb	11
Korbring	10
Krebs-Renard Motorballon	35
La France (Motorballon)	35
Lana's Ballon	3
Lanz-Schütte Motorballon	41
Lebaudy-Juillot Motorballons	47
Luftbahn	29
Luftballon (deutscher)	6
Luftballon (französischer)	15
Luftdruck (Berechnnng)	64
Lnftschifftypen	2
Luftwiderstand	101, 107

	Seite
Mechanische Wasserstoffgewinnung	89
Montgolfièren (moderne)	20
Montgolfièr's Versuche	3
Motorballons	32
Motorstärke	101
Netz	10
Parseval Motorballon	53
Parseval Treibschraube	54
Parseval-Sigsfeld Drachenballon	25
Preise von Luftballons	16
Registrierballons	18
Registrierinstrumente	18
Reichsluftschiffe	41
Reissbahn	9
Renard-Krebs Motorballon	35
Rollende Reibung	29
Roziere	5
Santos-Dümont's Motorballons	42
Schleppseil	11
Schütte-Lanz Motorballon	41
Schwanzkonstruktionen	48
Schwarz' Motorballon	36
Segel der Drachenballons	27
Siemens-Schuckert Motorballon	52
Sigsfeld-Parseval Drachenballon	25
Spanischer Armee-Ballon	53
Sport-Motorballons	51
Stabilität (Motorballons)	45
Starres Motorballonsystem	37
Steighöhe von Ballons	66
Steighöhenberechnung	70
Taube des Archytas	2
Tissandier's Motorballon	35
Torres Queredo (Motorballon)	53
Treibarbeit	101
Treibschraubenwirkungsgrad	101
Unstarres (Parseval) M.-Ballonsystem	53
Ventilquerschnitt	7
Ville de Paris (Motorballon)	48
Wasserstoffgewinnung	84
Wölfert's Motorballon	35
Zeppelin's Motorballon	37
Zeppelin's Steuernng	38
Zeppelin's Gashüllen	39
Zugfestigkeit	99

Übersicht über die Luftschifftypen.

Luftfahrzeuge.

Man unterscheidet jetzt die Luftfahrzeuge in Luftschiffe und in Flugschiffe, entsprechend der früheren schwerfälligeren Unterscheidung in Luftschiffe „leichter als Luft" und in Luftschiffe „schwerer als Luft". Die Luftschiffe sind durch einen oder mehrere Gasbehälter gekennzeichnet, die Gase, deren spezifisches Gewicht (das Gewicht eines bestimmten Volumens des Gases im Verhältnis zum Gewichte eines gleichen Volumens Luft) kleiner als das der Luft ist, in solchen Mengen enthalten, dass das Gewicht des gesamten Luftschiffes samt Luftschiffern und Ausrüstung, Gasbehältern und Gasen kleiner ist als das Gewicht der Luft, die das Luftschiff verdrängt. In Folge davon steigt das Luftschiff auf, bis es in höhere und deshalb leichtere Luftschichten kommt, in denen die vom Luftschiff verdrängte Luft ebensoviel wiegt, als das gesamte Luftschiff. Die Flugschiffe besitzen keine Gasbehälter, durch die sie getragen werden, sie erheben sich „dynamisch" dadurch in die Luft, dass mehr oder minder grosse Flächen, ihre Arbeitsflächen an ihren Tragdecken, Schaufeln, Flügeln, Schraubenflügeln usw. durch Motorkraft mit kleinerer oder grösserer Geschwindigkeit zur Erzeugung eines Luftdruckes auf diese Arbeitsflächen bewegt werden, der dann als Auftriebskraft das Fahrzeug trägt. Mit den Flugschiffen wollen wir uns hier nicht näher beschäftigen, sie sind Gegenstand einer besonderen Arbeit: „Der praktische Flugschiffer" geworden, die

im gleichen Verlage erschienen ist.[1]) Die nachfolgenden Blätter sollen aber eine Übersicht über die technischen und physikalischen Bedingungen der Luftschiffahrt und die gebräuchlichen und projektierten Typen der Luftschiffe geben, vom reinen Luftballon bis zu den Fahrzeugen, die schon ein Mittelding zwischen Luftschiff und Flugschiff sind.

Luftschifftypen.

Der älteste Luftschifftyp ist der Luftballon, an dem sich im Laufe der Zeit (es ist jetzt etwa 125 Jahre her, dass der erste bemannte Ballon in die Lüfte stieg, wir kommen darauf im nächsten Abschnitt noch zurück) nur wenig geändert hat. Das Bestreben, den Ballon zu verbessern, gipfelte darin, ihn lenkbar zu machen, unabhängig von den natürlichen Luftströmungen, denen er in der Luft machtlos preisgegeben ist. Von den natürlichen Luftströmungen mehr oder weniger unabhängig sind drei Typen von Luftschiffen: Das Fessel-Luftschiff, das am Boden fest verankert wird und meist militärischen Observations-Zwecken dient, die sogenannte Luftbahn, ebenfalls ein Fessel-Luftschiff, das sich wie eine Erdbahn an festen Geleisen entlang bewegen soll, und der Motor-Ballon, ein Frei-Luftschiff, das sich durch die Wirkung von Treibschrauben, die von Motoren in Bewegung versetzt werden, von den natürlichen Luftströmungen unabhängig machen soll.

Zur Geschichte des Luftballons.[2])

Die älteste historische Kunde von einer Art Luftballon kommt uns aus dem vierten Jahrhundert vor Chr., in dem Archytas von Tarent eine Taube herstellte, die sich vermöge eines in ihr eingeschlossenen „Hauches" in die Lüfte erhob. Diese Taube beschäftigte lange Zeit die Gemüter, aber erst viel später, als man

1) Näheres über Luftschiffe und Flugschiffe findet man auch im „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau" vom Autor dieser Arbeit, Verlag J. C. E. Volckmann Nachfolg. in Rostock, Preis 4 M.

2) Mit Benutzung von „die Geschichte der Luftschiffahrt" von R. Brunner.

die Eigenart der Gase allgemeiner erkannt hatte und einzusehen begann, dass das Archimedische Prinzip des Auftriebs auch für Gase Giltigkeit hat, versuchte man planmässige Erklärungen der Wundertaube des Archytas. Von da war es bis zu systematischen Versuchen zur Lösung des Flugproblems nicht mehr weit. Wohl unter dem Eindruck der Arbeiten von Pascal (1623—1662), von Otto von Guerike, des Bürgermeisters von Magdeburg (1602—1686) und von Toricelli (1608—1647) veröffentlichte der Jesuit Franzisko Lana im Jahre 1670 das Projekt eines Luftschiffs, das sich durch luftleer gepumpte Metallblechballons vom Erdboden erheben sollte. Ausgeführt ist das Luftschiff nicht, es ist auch aus technischen Gründen nicht ausführbar (noch in allerjüngster Zeit ist übrigens ein Luftschiff mit evakuierten Metallballons projektiert worden), aber die Anregung zur Verwertung des Archimedischen Prinzips für Luftschiffzwecke liess doch die Geister nicht wieder zur Ruhe kommen. Es dauerte aber doch noch über 100 Jahre, ehe man des Luftschiffprinzips sicher wurde. Zwar vollendete schon im Jahre 1709 der Portugiese Lourenço Don Gusmão einen Luftballon (über dessen Einzelheiten nichts zuverlässiges bekannt geworden ist) und stieg damit vor dem König Don Juan V. in Lissabon auf, ein kleiner Unfall bei diesem Aufstieg aber konnte die Entwicklung des Luftschiffs zu einem praktisch brauchbaren Fahrzeug noch fast 100 Jahre verzögern, bis die Geister weiterer Volksschichten einer unbefangeneren Naturbetrachtung geneigter waren und nicht mehr hinter jeder Neuerscheinung Teufelswerk vermuteten.

Mit dem Anbrechen der neuen Zeit der nüchternen praktischen Naturbetrachtung beginnt denn auch die praktische Entwicklung des Luftballons. Im Jahre 1783 erbauten die Gebrüder Montgolfier zu Annonay in der Bretagne einen mit Leinewand beklebten Papierballon und liessen ihn am 5. Juni 1783 auf dem Marktplatze ihrer Heimat vor den Augen der Einwohner in die Luft steigen. Der Ballon erhob sich bis zu etwa 300 m Höhe, und fiel nach 10 Minuten zur Erde wieder herab. Der geheimnis-

volle „Dunst", mit dem sie den Ballon angefüllt hatten, war erwärmte Luft, die durch ein Feuer in einer Art Ballongondel erzeugt wurde. Die Kunde von diesem Ereignis durcheilte Frankreich, und die Akademie der Wissenschaften in Paris lud die Gebrüder Montgolfier ein, nach dort zu kommen, und die Experimente in Paris in vergrössertem Masstabe zu wiederholen. Eine Kommission sollte die neue Sache in die Hand nehmen. Als sie aber, wie alle Kommissionen, zu langsam arbeitete, sammelte man in kurzer Zeit 10000 Frcs. und beauftragte den damals schon bekannten Chemiker Charles mit der Anstellung eines Versuchs. Charles war in dem Glauben, dass die Annonayer Brüder ihren Ballon mit Wasserstoff gefüllt hatten, der einige Jahre vorher, 1766 von Cavendisch entdeckt und bestimmt worden war, er besorgte deshalb einen Wasserstofferzeuger, liess von den Gebrüdern Roberts einen kleinen Ballon von 4 m Durchmesser aus gummiertem Stoff herstellen, und entsandte schon am 27. August 1783 den ersten Wasserstoffballon in die Lüfte. Trotzdem ist eigentlich nicht Charles der erste, der auf die Idee kam, Wasserstoff zur Ballonfüllung zu verwenden, denn auch die Brüder Montgolfier stellten Versuche mit Wasserstoffballons an, ehe sie warme Luft zur Ballonfüllung verwendeten. Als Papierfabrikanten fertigten sie den Ballon aber aus Papier, ein Stoff, der ohne besondere Gegenmassregeln für Wasserstoff so durchlässig ist, als wenn eine Hülle überhaupt nicht da wäre. So kamen sie denn auf die Anwendung von warmer Luft.

Bald darauf fertigten die Montgolfiers einen grossen Ballon von 2837 cbm Inhalt an, mit dem am 21. November 1783 Pilâtre de Rozier und der Marquis d'Arlandes aufstiegen. Sie blieben 25 Minuten in der Luft. Auch Charles ruhte nicht eher, bis er einen kugelförmigen Ballon von 9 m Durchmesser bei 381 cbm Inhalt aus mit Kautschuk gedichteter Seide bauen konnte, den er mit Wasserstoff anfüllte. Die Füllung dauerte 3 Tage. Der Ballon besass schon ein Netz, und oben ein Ventil mit einer Ventilleine, die durch das Balloninnere nieder zum Gondelkorb führte.

Ausserdem war dieser erste Ballon schon mit einem Anker mit langem Tau, und mit Ballast-Sandsäcken, und sogar mit einem Barometer ausgerüstet. Der Luftballon besass also schon im ersten Exemplar seiner Gattung eine Vollkommenheit, bis auf technische Einzelheiten, die bis heute noch nicht übertroffen worden ist. Am 1. Dezember 1783 bestieg Charles mit einem der Gebrüder Roberts die Gondel seines Luftballons, und erhob sich in die Lüfte. Der Ballon erreichte eine Höhe von 600 m und landete nach $3^1/_2$ stündiger Fahrt 9 Meilen von Paris. Hier setzte Charles seinen Begleiter aus, und stieg noch einmal allein auf. Durch die starke Entlastung erhob sich jetzt der Ballon auf 3400 m Höhe. Bald darauf, nach 35 Minuten, landete Charles glücklich. Die erste Fahrt war also auch schon eine Hochfahrt.

Das Jahr 1783 kann also als Geburtsjahr des Luftballons angesehen werden. Der Heissluftballon, die Montgolfière hat in der Folge eine praktische Bedeutung nicht gewinnen können, denn sein Betrieb ist ziemlich gefährlich. Man hat aber nie aufgehört, an der Verbesserung der Montgolfièren zu arbeiten, weil eine betriebssichere Montgolfière gradezu das Ideal eines Luftschiffs wäre; auch heute noch wird der Bau von Montgolfièren geplant. Wir kommen darauf zurück. An den Wasserstoffballons, den Charlièren, hat sich, wie schon gesagt, bis heute wenig geändert, ausgenommen etwa, dass man, wenn es sich machen lässt, anstatt des teueren Wasserstoffgases billigere Gasarten, z. B. Leuchtgase zur Füllung der Ballons verwendet.

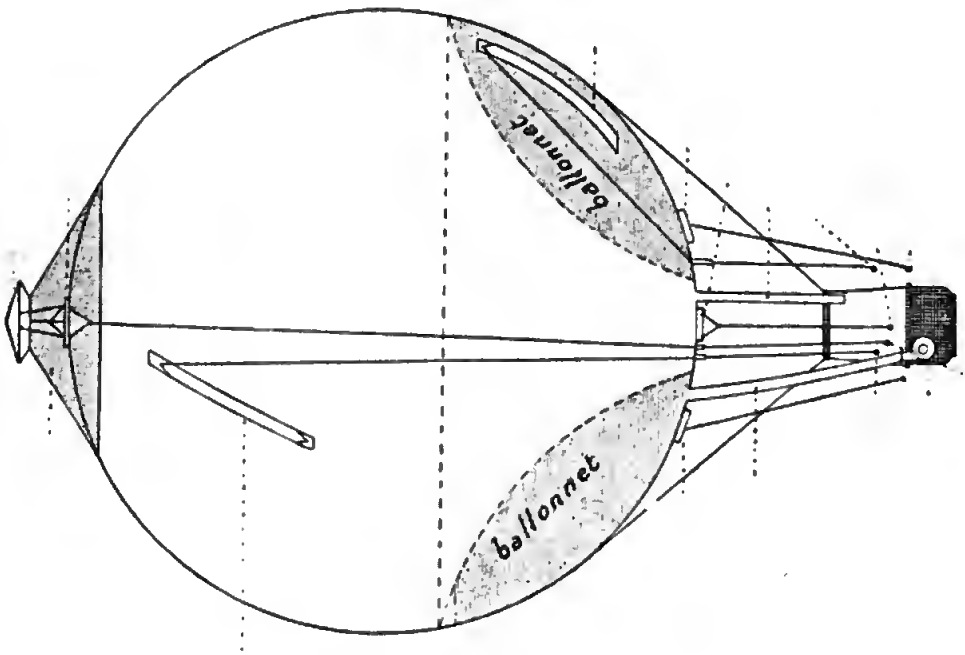
Schon früh, im Jahre 1784 enstand die Rozière, eine Kombination von Montgolfière und Charlière, bei der ein mit Wasserstoffgas (oder andern leichten Gasen) gefüllter Ballon das Gewicht des Luftschiffs ein für alle mal fast ganz ausgleicht, der eigentliche zum Aufstieg notwendige Auftrieb aber durch Beheizung des Traggases gewonnen wird. Zum Abstieg wird die Beheizung unterbrochen. Auch diese Idee ist bis in die allerneuste Zeit mehrfach immer wieder aufgenommen worden.

Schliesslich ist auch das Ballonet eine Erfindung ältesten Datums, die schon 1784 von Meusnier praktisch ausgeführt wurde.

Wir wollen uns nun einen modernen Luftballon näher ansehen, an dem die Einzelheiten eines solchen Fahrzeugs besser erklärt werden können.

Der moderne Luftballon.

Figur 1 zeigt einen Schnitt durch einen modernen Luftballon, eine Charlière, dessen Einzelheiten aber, wie wir eben gesehen haben, sehr alten Datums sind.



Figur 1.
Abbildung des Ballonetballons „Djion" nach H. Hervé.[1])

Der eigentliche Ballon ist eine gasdichte Hülle aus gummierten Perkalstoffen, aus gefirnisten Stoffen oder aus Goldschlägerhaut. Näheres über diese Stoffe findet man im Abschnitt „Ballonstoffe".

[1]) Aus den „Illustrierten Aeronautischen Mitteilungen" Seite 46 Jahrg. 1904.

Im oberen Teile des Ballons befindet sich das Manövrierventil, das durch eine Ventilleine von der Gondel aus geöffnet oder geschlossen werden kann. Sobald das Ventil geöffnet wird, strömt etwas vom Traggas aus der Ballonhülle ins Freie, wodurch der Auftrieb des Ballons vermindert wird.

Der Auftrieb des Ballons ist gleich der Tragkraft seines Traggases, vermindert um das gesamte Gewicht des Luftschiffs. Am Erdboden in Meereshöhe bei normalem Luftdruck beträgt die Tragkraft des Traggases eines mit Leuchtgas gefüllten Ballons ca. 0,7 I kg, bei einer Füllung mit Wasserstoffgas ca. 1,1 I kg, wenn I der Rauminhalt der Ballonhülle in cbm ist. (Man vergleiche den Abschnitt „Der Auftrieb verschiedener Gasarten".) Für kugelförmige Ballons ist annähernd:

1) $$I = \frac{\pi}{6} D^3 = 0{,}525\ D^3 \text{ cbm.}$$

worin D der Durchmesser der Kugel in Metern ist.

Das obere Manövrierventil soll, damit es die Absicht des Luftschiffers wirksam unterstützen kann, einen so grossen freien Querschnitt besitzen, das durch das geöffnete Ventil in der ersten Minute der dreissigste Teil des Traggasinhalts der Ballonhülle abblasen kann. Der hierzu notwendige Ventilquerschnitt im Verhältniss zur Ballongrösse I ergibt sich auf folgende einfache Weise:

Auf der Innenseite des Ventils lastet ein gewisser Überdruck, denn das Traggas drückt ja zunächst auf die Ballon-Hüllenwand, von der das Ventil ein Teil ist, und die Hülle trägt schliesslich erst das Luftschiff. Der Druck auf das Ventil beträgt:

2) $$P = H A_0 \frac{b}{760\ (1 + 0{,}00366\ t)} \text{ kg/qm,}$$

wenn H die Höhe der Ballonhülle in Meter, A_0 der Auftrieb oder die Tragkraft eines cbm Traggases bei 0^0C und 760 mm Quecksilber Barometerdruck, b den jeweiligen Barometerstand in mm Quecksilber und t die Temperatur des Traggases in Graden Celsius bedeutet. Es ist dabei vorausgesetzt, dass die äussere Luft ebenfalls die Temperatur t besitzt, was aber gewöhnlich

nicht der Fall ist. (Man vergleiche den Abschnitt „Berechnung der Ballondimensionen"). H ist gewöhnlich von D, dem Durchmesser des Ballons nur wenig verschieden. Öffnet man nun das Ventil, so strömt etwas von dem Traggas mit dem Überdruck P ins Freie. Es erlangt dadurch beim Ausströmen die Ausströmungsgeschwindigkeit V m/sek, die (nach der „Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch") etwa

3) $$V = \sqrt{2\,g\,\frac{0{,}777\,(1 + 0{,}00366\,t)\,760}{s \cdot b}\,.\,P}$$

$$= \sqrt{2\,g\,\frac{0{,}777}{s}\,H\,A_0} \qquad = 3{,}91\,\sqrt{\frac{H\,A_0}{s}}\ \text{m/sek}$$

beträgt, wenn g die Beschleunigung der Schwere, gleich 9,81 und s das spezifische Gewicht des Traggases ist. Besitzt die Ventilöffnung den Querschnitt $q = \frac{d^2}{4}\,\pi = 0{,}786\ d^2$ Quadratmeter, (d ist der Durchmesser der kreisförmigen Ventilöffnung in Metern), so strömt in einer Sekunde die Traggasmenge $q \cdot V$ cbm aus der Hülle ins Freie, in einer Minute 60 q V cbm, wenn die Ausströmungsverhältnisse die gleichen bleiben. Das ist nun nicht der Fall, denn das Traggas in der Hülle nimmt ab. Da wir aber nur einen unteren Grenzwert der Ventilöffnung eliminieren wollen, brauchen wir das hier nicht berücksichtigen, wir können also setzen; in der ersten Minute strömen 60 qV cbm Traggas aus der Hülle aus. Nach Voraussetzung soll diese Menge mindestens gleich sein I : 30 cbm, dem dreissigten Teil des gesamten Traggasinhalts der Hülle. Wir erhalten dann aus

$$60\ q\ V = 184\ d^2\,\sqrt{\frac{H\,A_0}{s}} = I : 30$$

die untere Grenze des Durchmessers der Ventilöffnung

4) $$d = \sqrt{\frac{I}{5500}\,\sqrt{\frac{s}{H\,A_0}}}\ \text{Meter.}$$

Für Leuchtgas ist etwa $s = 0{,}45$ und A_0 etwa 0,7; für Wasserstoffgas kann man annehmen: $s = 0{,}069$ und $A_0 = 1{,}196$; Hieraus erhält man

5) für Leuchtgas $d = 0{,}012 \sqrt{\frac{I}{\sqrt{H}}}$ m,

für Wasserstoffgas $d = 0{,}0066 \sqrt{\frac{I}{\sqrt{H}}}$ Meter.

Die Ventile, die an Kugelballons verwendet werden, sind gewöhnlich viel grösser, als wir eben als Mindestgrösse festgestellt haben, wenn der Ballon von einer soliden Firma stammt. In Figur 2 ist das Ventil der Ballonfirma August Riedinger in Augsburg abgebildet. Es ist von der Firma auf einfachste Konstruktion Gewicht gelegt, um den Betrieb des Ventils so zuverlässig wie nur möglich zu gestalten. Das Ventil besteht aus einem Teller mit rechtwinklig abgebogenem scharfen Rand, der auf einer Gummiunterlage aufsitzt. Über dem Teller befinden sich Bügel, an denen Spiralfedern sitzen, die den Teller gegen die Unterlage drücken.

Figur 2.

Für einen Ballon von 13,5 m Durchmesser, also ca. 1290 cbm Inhalt wird schon ein Ventil mit einer freien Öffnung von 0,75 m verwendet, also einen Durchflussquerschnitt, der ca. 10 mal so gross ist, als nach unserer Rechnung mindestens notwendig ist. Durch dieses Ventil können, vorausgesetzt, dass die Ausströmungsbedingungen konstant bleiben, in einer Minute nach Gleichung (3) annähernd

$$60 \cdot q\ V = 60 \cdot 0{,}44\ \ 3{,}91\ \frac{13.5\ 0{,}7}{0.45} = 470 \text{ cbm}$$

Leuchtgas den Ballon verlassen. Der Gasdruck auf das Ventil beträgt nach (2) annähernd

$$q\ P = 4{,}4 \text{ kg}.$$

Damit die Ventilleine den Teller gleichmässig nach unten von der Unterlage abzieht, sind am Rande des Tellers 4 Schrauben angebracht, an denen die Ventilleine gleichzeitig angreift.

Zu einer schnellen Landung genügt aber das obere Ventil doch nicht, hierzu muss die Reissbahn in Funktion treten, die im oberen Teil der Ballonwand in Figur 1 sichtbar ist. Die

Reissbahn verschliesst einen Schlitz in der Ballonhülle, der sich vom Ventil nach dem Äquator des Ballons zu hinzieht, und eine verhältnismässig sehr grosse Öffnung in der Ballonhülle darstellt, über den die Reissbahn, oder die „Zunge" durch Gummilösung so aufgeklebt wird, dass für gewöhnlich Gas durch den Schlitz nicht entweichen kann. Die Zunge endet oben in einem Knebel, von dem eine Leine durch das Balloninnere zum Korb geht. Will der Luftschiffer eine schnelle Landung herbeiführen, etwa bei windigem Wetter in beengtem Landungsrevier, so zieht er die „Reissleine", die zum Unterschied von der Ventilleine gewöhnlich als flaches Band hergestellt wird, damit Verwechslungen vermieden werden. Hierdurch wird die Reissbahn von der Ballonhülle abgelöst, und das Traggas kann durch den breiten klaffenden Schlitz in der Hülle schnell ins Freie entströmen. Vor einem wiederholten Aufstieg wird der Schlitz wieder mit der Reissbahn überklebt.

Wenn der Luftballon kein Ballonet besitzt, was gewöhnlich der Fall ist, (wir kommen darauf noch zurück) so befindet sich an der Unterseite der Hülle der stets offene, oder doch nur oberflächlich verschlossene Appendix, durch den die Hülle auch gefüllt wird. Durch den Appendix führen gewöhnlich die beiden Leinen, die Ventilleine und die Reissleine in den Korb, in die Gondel.

Der Korb hängt entweder an einem Netzwerk, das den oberen Teil der Ballonhülle bis über den Äquator umgibt, und die Ballonhülle fast ganz von Zugbeanspruchungen durch die Last des Korbes befreit (die gebräuchlichste Art der Befestigung des Korbes) oder er hängt an einem Äquatorgurt, der etwas unter dem Äquator des Ballons auf die Hülle aufgeklebt und aufgenäht ist, vermittelst sogenannter Gänsefüsse und Schlaufen. Diese Art der Aufhängung ist in Frankreich mehr gebräuchlich, als bei uns; sie ergibt für kleinere Ballons ein etwas geringeres Gewicht, bei grösseren Ballons wird aber die Netzaufhängung leichter.

Die Aufhängeleinen gehen zunächst durch den Korbring, ein Ring aus festem Holz oder Mannesmannrohr mit Leinen-Umhüllung, ein Teil von den Leinen endet bei manchen Kon-

struktionen schon am Korbring, der übrige Teil geht bis zum Korb, und ist hier solide befestigt.

Der Korb besteht gewöhnlich aus kräftigem Weidengeflecht, das durch Rohrstäbe verstärkt ist. Innen befinden sich Klappsitze und Handgriffe, an der Aussenwand der Proviantbehälter. Der Korb ist mit 8 bis 12 ca 15 mm starken Leinen am Korbring respektive am Ballon befestigt. Die Abmessungen und Gewichte von viel verwendeten Ballonkörben lässt Tabelle I erkennen.

Tabelle I

Abmessungen und Gewichte gebräuchlicher Ballonkörbe.

Korb-Höhe	Breite	Länge	Gewicht
1,1 m	0,75 m	0,96 m	18 kg
1,1 m	1,00 m	1,10 m	24 kg
1,1 m	1,25 m	1,35 m	55 kg
1,1 m	1,30 m	1,40 m	68 kg
1,1 m	1,35 m	1,45 m	75 kg
1,1 m	1,35 m	1,60 m	90 kg

Wenn die Körbe innen mit Stoff ausgeschlagen werden, erhöhen sich die Gewichte.

Alles das, was der Luftschiffer für die Luftreise gebraucht, wird möglichst an der Aussenseite des Korbes verstaut. Da ist zuerst das sehr wichtige Schleppseil, das am Korb aussen angehängt wird. Es ist gewöhnlich etwa 100 m lang, und kann oft besser als ein Anker von 40 kg Gewicht, den es entbehrlich macht, die Landung erleichtern. Auch wenn man sich während der Fahrt nicht weit vom Erdboden entfernen will, benutzt man das Schleppseil, das den Ballon, wenn es nachgeschleift wird, auf eine gewisse Entfernung dadurch ungefähr einstellt, dass beim Sinken des Ballons mehr vom Schleppseil zur Erde gelangt, vom Ballon also nicht mehr getragen zu werden braucht; beim Steigen mehr vom Schleppseil von der Erde aufgenommen und der Ballon damit belastet wird. Dadurch ändert der Ballon nur langsam seine Höhenlage, und die Änderung kann durch Auswerfen von

Ballast oder Auslassen von Traggas durch das Manövrierventil bequem wieder ausgeglichen werden. Ähnlich wirkt das Schleppseil beim Landen: Zur Einleitung der Landung wird man durch Öffnung des Manövrierventils den Auftrieb des Ballons entsprechend so weit vermindern, dass es etwas kleiner ist als das Gewicht des Luftschiffs. Dadurch beginnt das Luftschiff zu fallen. Die Fallgeschwindigkeit kann ziemlich bedeutend werden, wenn zu viel Traggas aus der Hülle entwichen ist. Hat man nun vorher das Schleppseil gelöst, so dass es frei nach unten hängt, so beginnt es, wenn der Ballon nur noch ca 100 m von der Erde entfernt ist, das Luftschiff entsprechend seiner weiteren Annäherung an den Erdboden mehr und mehr zu entlasten, so dass, sachverständiges Manövrieren des Luftschiffers vorausgesetzt, die Fallbewegung des Luftschiffs in nächster Nähe des Erdbodens zum stehen kommen, oder auf ein ganz ungefährliches Mass heruntergedrückt werden kann.

Aussen am Korb hängen auch eine Anzahl Ballastsäcke. Da man einen Vorrat von Traggas mit auf die Reise nehmen muss, weil durch die Ballonhülle hindurch, und durch andre Einflüsse, die im Abschnitt „der Auftrieb verschiedener Gasarten" besprochen sind, fortgesetzt Traggas verloren geht, so muss die Ballonhülle bedeutend grösser gewählt werden, als für das Luftschiff an sich notwendig wäre, und der überschüssige Auftrieb des überschüssigen Traggases muss vorerst durch eine Zusatzbelastung, die jederzeit vermindert werden kann, paralysiert, passiv gemacht werden. Diese Zusatzbelastung wird durch den Ballast, gewöhnlich Sand, hervorgebracht. Nimmt dann der Auftrieb entgegen der Absicht des Luftschiffers ab, so kann er durch Auswerfen von etwas Ballast einen Teil seines passiven Traggases aktiv werden lassen. Auf Seite 94 werden wir ein Verfahren von Erdmann kennen lernen, nach dem die Mitführung eines Vorrates von Traggas ohne Ballast möglich sein soll.

Viele Luftschiffer führen neben oder anstatt der Schleppleine einen Anker mit auf die Fahrt, der mit seinem Gewicht von ca. 40 kg natürlich keine geringe Mehrbelastung, namentlich für ein

kleines Luftschiff, bedeutet. Der Anker soll die Landung erleichtern, nebenbei dient er auch als „eiserner" Ballastbestand, der im Notfall noch geopfert werden kann. Mit dem schweren Anker muss beim Landen sehr vorsichtig operiert werden, weil er sonst die Landung erschwert, anstatt erleichtert. Ganz falsch wäre es z. B., wollte man den Anker aus dem sinkenden Ballon einfach auswerfen, wie etwa einen Schiffsanker, denn das Auswerfen bedeutet für das Luftschiff eine bedeutende Entlastung, die es unter normalen Umständen sofort zum rapiden Aufsteigen veranlasst, wodurch der Anker, selbst wenn er schon gefasst hat, aus dem Erdreich wieder ausgerissen wird. Ausserdem erfährt das Ballonmaterial durch den Stoss sehr grosse Beanspruchungen, die seine Lebensdauer herabsetzen. Der Anker muss stets in Fühlung mit der Hand des Luftschiffers bleiben.

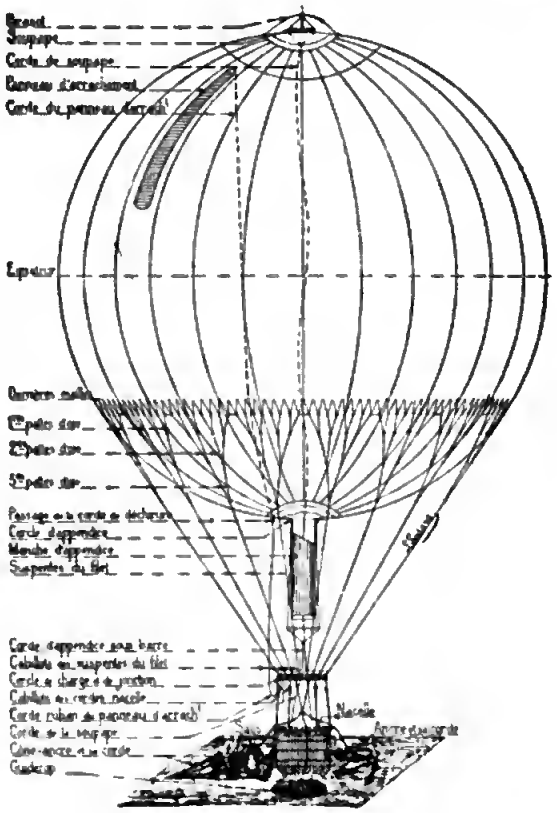
Mit der Entfernung von der Erdoberfläche nimmt der Luftdruck der Atmosphäre ab, das Traggas, das sich in der Ballonhülle befindet, dehnt sich deshalb mit der Entfernung des Luftschiffs von der Erde entsprechend aus. In den höheren Luftschichten erwärmt sich durch die Wirkung der „Insolation" auch das Traggas über die Temperatur der Umgebung, wodurch eine weitere Ausdehnung des Balloninhalts über sein ursprüngliches Volumen an der Erdoberfläche bedingt wird. Diese Verhältnisse werden wir zahlenmässig im Abschnitt „Der Auftrieb verschiedener Gasarten" kennen lernen. Die Ballonhülle besitzt aber einen ganz bestimmten Inhalt, der sich nur geringfügig durch äussere Einflüsse ändern kann. Hat man also die Hülle an der Erdoberfläche mit Gasen ganz angefüllt, so beginnt schon mit der Auffahrt stetig Gas aus der unteren Öffnung der Hülle zu entweichen, da man die Hülle nicht so fest konstruieren kann, dass man die Traggase darin einschliessen könnte, etwa wie in einem Dampfkessel. Der Überdruck, dem die Hülle zu wiederstehen vermag, ist nur sehr klein, und in dieser Beziehung praktisch nicht ausnutzbar. Wenn Gas aus der Hülle ausströmt, so nimmt natürlich auch der verfügbare Auftrieb sofort ab, so dass man unter Umständen

sofort beginnen muss, mit dem Ballast zu arbeiten, um passive Traggase aktiv zu machen. Es ist also klar, dass es gar keinen Zweck hat, die Ballonhülle auf der Erde ganz mit Gas anzufüllen, man tut besser, die Ballonhülle nur soweit mit Gas anzufüllen, dass das Luftschiff mit einer bestimmten Menge Manövrierballast, (die von der höchsten Höhe abhängt, die man zu erreichen wünscht, und von der beabsichtigten Fahrtdauer) eine gewisse Höhe erreichen kann, ohne das der Traggasinhalt der Hülle sich über ihren gesamten Rauminhalt ausdehnt, und Traggas verloren geht. Die Volumenausdehnung ist ziemlich bedeutend, wir werden später sehen, dass man bei einer Steighöhe von nur 500 m schon mit einer Volumenvergrösserung rechnen muss, die 1 : 6 des Rauminhaltes der Traggase am Erdboden ausmacht. Wollte man also im ersten Anlauf auf 500 m steigen ohne Traggase zu verlieren, so müsste man die dem gesamten Gewicht entsprechende Ballonhülle nur etwa zu $^5/_6$ mit Gasen anfüllen. Steigt man dann höher, so entströmt allerdings dem Ballon doch Gas, oder man müsste eine noch grössere Ballonhülle gewählt haben, in die relativ dieselbe Menge Traggas einzufüllen wäre.

Das Fahren mit schlaffer Ballonhülle bringt aber vielerlei Übelstände mit sich und strapaziert auch den Ballonstoff, der sich an den Falten leicht durchschauert. Diese Übelstände zu vermeiden, ist das Ballonet geeignet, dass in der unteren Hälfte des Ballons in Figur 1 sichtbar ist. Das Ballonet besteht in einem Luftsack, der vom Korb aus durch einen Handventilator stets soweit mit Luft vollgepumpt wird, dass die Ballonhülle prall aufgeblasen ist. Bei Verwendung des Ballonets muss der Ballon natürlich unten geschlossen werden., weil man sonst mit dem Luftsack das Traggas aus der Hülle herausdrückt. Zur Sicherheit ist dann am Ballonet ein selbsttätiges Ventil anzubringen, das Luft entweichen lässt, wenn ein Überdruck im Traggas entstehen will. Irgend eine andre Funktion, die man zu Zeiten wohl von ihm erwartet hat (wie die Vergrösserung des Auftriebs der Traggase etc.) kann das Ballonet nicht erfüllen. Die meisten Luft-

schiffer sind der Meinung, dass die Vorteile, die das Ballonet beim Luftballon bietet, durch den umfangreichen Apparat, den sein Betrieb erfordert, und der eine Mehrbelastung des Luftschiffs um ca 20 % bedingt, mehr als aufgehoben werden. Man trifft denn auch in der Luftballon-Schiffahrt nur selten Ballons mit Ballonet an. Für die Motorluftschiffe aber, deren Hülle auf einer ganz andern Basis konstruiert wird, ist das Ballonet von der allergrössten Bedeutung, für manche Lufsschiffarten ist ein gut funktionierendes Ballonet geradezu eine Lebensbedingung.

Zu erwähnen ist noch, dass man jetzt das Netz meistens mit einem isolierten Kabel versieht, das vom Ventil bis unter den Korb reicht, und das elektrische Ströme, die sich beim Ausströmen des Gases aus dem Ventil bilden können, zur Erde ableiten soll.



Figur 3

In Figur 3 ist noch ein französischer Luftballon abgebildet, der die französische Bauart und Bezeichnungsweise erkennen lässt. Bei diesem Luftballon ist kein Ballonet vorgesehen.

Es wird vielleicht interessieren, etwas über die Preise von Luftballons zu erfahren. In nachstehender Tabelle II sind die ungefähren Preise von Luftballons einer bekannten französischen Firma, in Tabelle III die einer bekannten deutschen Firma angegeben.

Tabelle II.

Ungefähre Preise von französischen Luftballon-Hüllen.

Inhalt	Durchmesser	Flächeninhalt der Hülle	Preise in feinem Perkal	Preise in extra leichter Seide	inschwerer Seide	in Ponghée Seide
cbm	m	qm	Frcs	Frcs	Frcs	Frcs
150	6,60	136	—	2150	—	—
250	7,80	190	—	2800	—	—
350	8,75	247	1550	3500	3200	3050
400	9,20	266	1625	3750	3425	3250
600	10,50	347	2025	4750	4300	4100
825	11,65	426	2475	6350	5200	5000
925	12,10	460	2725	7050	5750	5500
1050	12,60	498	2950	7650	6200	6000
1250	13,40	564	3300	nach dem Cours von Lyon	7000	6700
1650	14,70	678	4000		8600	8200
2000	15,65	769	4825		9800	9500
2280	16,35	839	5325		10600	10300

Tabelle III enthält ungefähre Preise von deutschen Luftballons mit Traggashülle aus doubliertem gummiertem Perkalstoff, den Vorschriften des preussischen Luftschiffer-Battaillons entsprechend, mit Reissbahn, Manövrierventil, Regenstraufe, Appendix, Netz aus bestem italienischen Hanf, auf Wunsch imprägniert, Korbring, je nach Wunsch aus Holz oder Mannesmannrohr, Korb mit 8—12 Korbleinen und abschlagbaren Rohrsitzen, alle Korbleinen durchlaufend zu den Auslaufleinen des Netzes (so dass auch beim Bruch des Korbringes für die Korbinsassen keine Gefahr entsteht), Schlepptau von 100 m Länge mit am Korbring aufgehängtem Ablaufring zum leichten Ablassen des Taus, (die untere Hälfte des Taues wird zur Vermeidung von Schlingenbildung auf Wunsch mit Stahlseele versehen), Füllschlauch mit Tülle, Reparatur-Material und Verpackung.

Die angegebenen Preise sollen nur einen ungefähren Anhalt über die Grössenordnung der Anschaffungskosten eines Luftballons geben, denn die tatsächlichen Preise

ändern sich fortwährend (je nach den augenblicklichen Baumwollen-, Kautschuck- etc. Preisen).

№	Durchmesser	Knbik-Inhalt	Korbdimension bei 1.1 m Höhe	Total-Gewichte[1]) kg	Gesamt-Auftrieb[2]) Leuchtgas per m³ 0,7 Kilo	Gesamt-Auftrieb[2]) Wasserstoffges per m³ 1 Kilo	Preise Mark
I	8,4	310	1,1/1,1	130	87	180	2275
II	8,8	350	1,1/1,1	150	95	200	2570
III	10,	523	1,1/1,1	175	191	348	3160
IV	10,4	586	1,25/1,25	220	190	366	4325
V	10,7	641	1,25/1,25	235	213	406	4515
VI	10,92	680	1,25/1,35	245	231	435	4770
VII	11,1	714	1,25/1,35	260	239	454	4925
VIII	11,4	776	1,25/1,35	270	273	506	5190
IX	11,6	816	1,25/1,35	280	291	536	5380
X	11,8	860	1,25/1,35	290	312	570	5560
XI	12	905	1,25/1,35	300	333	605	5750
XII	12,3	972	1,25/1,35	320	360	650	6045
XIII	12,5	1024	1,25/1,35	330	386	694	6235
XIV	12,8	1098	1,25/1,35	350	418	748	6540
XV	13	1150	1,25/1,35	360	445	790	6745
XVI	13,2	1202	1,25/1,35	370	471	832	6945
XVII	13,5	1288	1,25/1,35	390	511	898	7265
XVIII	13,7	1345	1,25/1,35	400	541	945	7495
XIX	13,8	1380	1,25/1,35	410	556	970	7610
XX	14	1437	1,25/1,35	420	585	1010	7825
XXI	14,2	1500	1,25/1,35	440	610	1060	7980
XXII	14,5	1598	1,25/1,4	450	678	1148	8395
XXIII	14,8	1696	1,25/1,4	470	718	1226	8740
XXIV	15	1767	1,25/1,4	480	756	1287	8980
XXV	15,2	1838	1,25/1,4	490	796	1348	9225
XXVI	15,5	1950	1,25/1,4	520	845	1430	9925
XXVII	15,8	2065	1,25/1,4	540	905	1525	9975
XXVIII	16	2148	1,25/1,4	550	903	1598	10200
XXIX	16,16	2200	1,25/1,4	558	953	1650	10400
XXX	16,4	2348	1,25/1,4	610	1033	1738	11270

1) Für Sportzwecke und Luftrennen erhalten die Ballons eine eigene leichtere Ausrüstung.

2) Unter Annahme der Auftriebe von 0,7 Kilo für Lenchtgas und 1,0 Kilo pro cbm für Wasserstoffgas dürfen die Differenzen durch Anfstieghöhe nnd Temperatur ziemlich ausgeglichen worden sein.

Für kurze Fahrten von 2 Personen, eines Führers und eines Passagiers, eignet sich bei Wasserstoffüllung ein 350 cbm Ballon, bei Leuchtgasfüllung ein 816 cbm Ballon. Eine einzelne Person kann sich natürlich mit einem noch kleineren Ballon behelfen, und genussreiche Fahrten damit machen. Vereine für Luftschiffahrt wählen gewöhnlich grössere Ballons von ca. 1500 cbm Inhalt.

Zur Kontrolle der Fahrt sind einige Instrumente mitzuführen. Zur Bestimmung der jeweiligen Standhöhe des Ballons benutzt man das Barometer oder den Barographen, der die erreichten Höhen in einer Kurve auf einem Blatt Papier aufzeichnet. Der Preis solcher Instrumente beträgt 50 bis 300 M, je nach Ausführung. Zur Ermittlung der jeweiligen Temperatur benutzt man gewöhnlich das Assmannsche Psychrometer (Preis ca. 175 M.), aber auch jedes andere Thermometer kann bei genügender Vorsicht gute Dienste leisten. Durch Mitführung eines Thermographen könnte man den Verlauf der Temperaturen während der ganzen Fahrt als Kurve auf einem Blatt Papier aufgezeichnet erhalten. Durch ein Hygrometer kann man die relative und absolute Feuchtigkeit der Luft in den verschiedenen Regionen bestimmen; gleichen Zwecken dient aber auch das Assmannsche Psychrometer. Über den Preis und den Gebrauch dieser Instrumente informiert man sich am besten aus den Katalogen der Firmen, die solche Apparate fabrizieren (z. B. Wilh. Lambrecht in Göttingen).

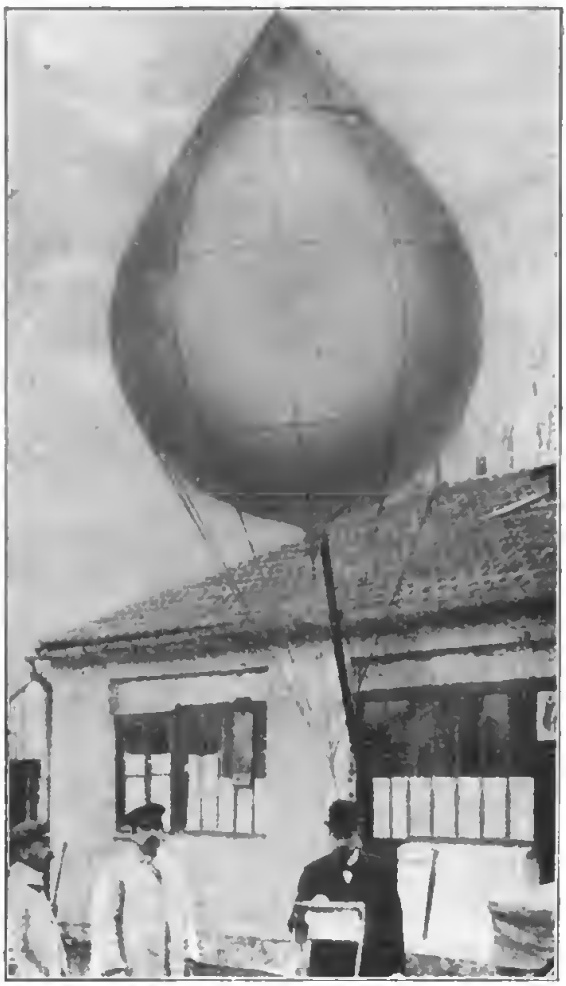
Registrierballons.

Zur Durchforschung der Atmosphäre bis in grosse Höhen, in die ein bemannter Luftballon nicht mehr gelangen kann, verwendet man unbemannte Luftballons, die nur mit den zur Feststellung des Zustandes der Atmosphäre notwendigen selbsttätig registrierenden Instrumenten ausgerüstet sind. Da diese Ballons Höhen von 10 bis 20 Kilometern erreichen sollen, müssen sie sehr leicht sein. Die Ballons sollen aber auch billig sein, denn da die Registrierungen eines einzelnen Ballons wenig aufklärenden Wert besitzen, hat sich eine internationale Vereinigung gebildet,

die zu einer bestimmten Zeit an vielen Orten zugleich Ballons aufsteigen lässt, deren Registrierungen dann mit Hilfe der meteorologischen Situationen der verschiedenen Orte schon ein deutlicheres Bild von den allgemeinen atmosphärischen Druck- und Temperatur-Schichtungen im Gebiet der internationalen Vereinigung gibt. In der Höhe, bis zu der die Ballons vordringen sollen, ist die Luft schon sehr dünn, (man vergleiche den Abschnitt „Der Auftrieb verschiedener Gasarten"), die Ballonhüllen fallen deshalb selbst für die geringe Belastung schon relativ gross aus, entsprechend dem Volumen des Traggases in der Höhe, dass das Gewicht des Ballons noch zu tragen imstande ist. In der Tiefe, an der Erdoberfläche ist das Volumen dieses Quantum Traggases ein bedeutend geringeres. Wenn man eine gewöhnliche offene Ballonhülle verwendet, hat man also an der Erde viel mehr Traggas in die Hülle einzufüllen, als für den Aufstieg notwendig ist. Der Überschuss strömt während des Aufstiegs mit dem abnehmenden äusseren Druck aus der Hülle aus. Solche offenen Hüllen werden aber relativ schwer, um sie zu umgehen, verwendet man heute meistens dünne, sehr dehnbare Gummiblasen als Ballonhülle, die den Volumenänderungen eines bestimmten Quantums Traggas, das den Ballon bis in eine gewisse Höhe zu treiben vermag, ständig folgen kann. Figur 4 zeigt einen solchen Assmannschen Registrierballon, Figur 5 eine

Fig. 4.

französische Ausführung, bei der der Ballon oben zugespitzt ist, damit er schnell die grösste Höhe erreichen kann. In der Höhe zerplatzen diese Ballons, und die Apparate mit den Aufzeichnungen gleiten vermittels eines kleinen Fallschirms, der den Ballons beigegeben ist, zur Erde. Der Assmannsche Ballon Figur 4 kann sich innerhalb des Netzes bis auf den doppelten Durchmesser oder den achtfachen Rauminhalt ausdehnen. Ein Ballon von 2 m Durchmesser (an der Erde) vermag mit seinen Instrumenten eine Höhe von 17 bis 18 Kilometern zu erreichen.



Figur 5.

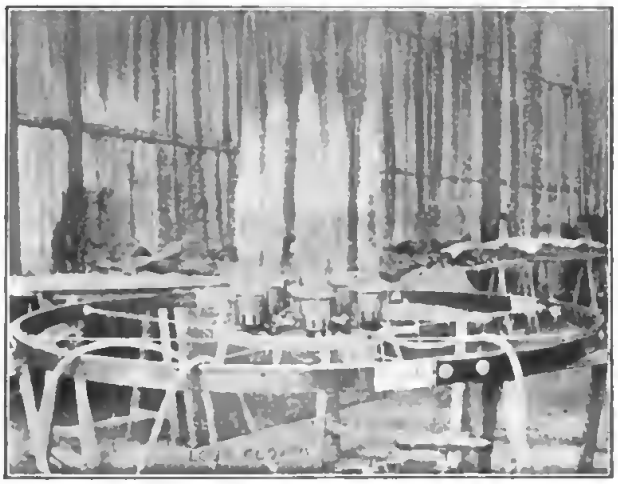
Moderne Montgolfièren.

Der Betrieb von Luftschiffen mit leicht entzündlichen Gasen ist mit mancherlei Gefahren verbunden, die Gase sind auch nicht überall zu haben, und sind auch kostspielig. Deshalb greifen die Konstrukteure immer wieder gerne auf die Montgolfière zurück, die ja auch ein ideales Luftschiff wäre, wenn sie sich zuverlässig ausgestalten liesse. Figur 6 zeigt eine moderne französische Montgolfière „für sehr heisse Länder (in denen Gasballons nur mit grossen Gasverlusten arbeiten können), für Festungen,

isolierte Forts, für Kolonial-Kriege", wie es im Prospekt heisst. Der Ballon ist aus starker Seide gefertigt, die nicht gefirnist wird, und unverbrennlich gemacht werden kann. Der Ballon soll einen Rauminhalt von ca. 1800 cbm besitzen.

Figur 6.

Figur 7 zeigt den Heizapparat dieses Luftschiffs, bestehend aus sieben Brennern, die mit Petroleum gespeist werden, und die auf einem kreisförmigen Gestell montiert sind, das sozusagen den Boden des Ballons bildet. Der Brennstoffvorrat befindet sich im Korb des Ballons. Die Füllung der Montgolfière erfordert besondere Vorkehrungen; Figur 8 ist eine Abbildung einer solchen Füllung. Bei windigem Wetter wird diese Manipulation ihre Schwierigkeiten haben. Der Petroleumvorrat soll dem Ballon eine mehrstündige ununterbrochene Fahrt gestatten.



Figur 7.

Der Auftrieb der erhizten Gase ist nur gering. Besitzt der gesamte Luftinhalt des Ballons eine Temperatur von 50° C, so könnte man am Erdboden auf einen Auftrieb von ca. 0,20 kg per cbm Balloninhalt rechnen; bei 100 Grad Lufttemperatur wäre er ca. 0,34 kg (man vergleiche den

Abschnitt „Der Auftrieb verschiedener Gasarten"). Durch Anreicherung der Luft mit Wasserdämpfen könnte man den Auftrieb per cbm bei 100° C bis gegen 0,7 kg steigern. Zu irgend welcher Bedeutung haben es d. Montgolfièren noch nicht bringen können.

Figur 8.

Eine Nachrechnung zeigt übrigens, dass bei 100° Innentemperatur die Wärmeverluste nach aussen bei einfachen Ballonhüllen schon ganz ungeheuer gross sind, so dass gewaltige Ansprüche an die Heizung gestellt werden. Man müsste die Hülle wärmeisolierend ausgestalten. Dann wird sie aber wieder relativ schwer.

Die Fesselballons.

Schon sehr bald nach der Einführung des Luftballons in die Öffentlichkeit durch Montgolfier und Charles regte sich der Wunsch, den Luftballon lenkbar zu machen. Schon im Jahre 1784 erprobte Charles einen mit Rudern und Segeln ausgerüsteten Ballon auf seine Lenkbarkeit, natürlich mit nur geringem Erfolg. Wir wissen heute, dass relativ gewaltige Kräfte zur Lenkung von Luftschiffen gegen die natürlichen Luftströmungen gebraucht werden, die damals, als die Dampfmaschine eben erst durch Watt eine brauchbarere Form erhalten hatte, dem Luftschiffer noch nicht zur Verfügung gestellt werden konnten. Die lenkbaren Ballons begannen sich auch erst praktisch zu entwickeln, als man leichte Motoren,

namentlich Gasmotoren bauen lernte. Im 18. Jahrhundert war man noch sehr weit entfernt davon. An energischen Versuchen dazu hat es nicht gefehlt. Die Franzosen lernten den Luftballon in den grossen Kriegen der ersten Republik schätzen und erkannten die Bedeutung eines lenkbaren Luftschiffs für die Armee, an ihrer Spitze Napoleon, der auch mit dem Vorschlag zu einem durch Pulver betriebenen Explosionsmotor hervortrat. Die Zeit der Explosionsmotore war aber, wie gesagt, noch lange nicht gekommen. Vorerst musste man sich damit begnügen, die Ballons dadurch der Macht des Windes zu entziehen, dass man sie am Erdboden verankerte. Verankerte man sie an einem Wagen, so besass man mit einem Schlage auch gleich ein lenkbares Luftschiff, da es den Ortsveränderungen des Wagens folgen musste. Hatte man sich auch das lenkbare Luftschiff anders vorgestellt, so leistete es in dieser Form als Fesselballon den Franzosen in ihren Kriegen doch immense praktische Dienste.

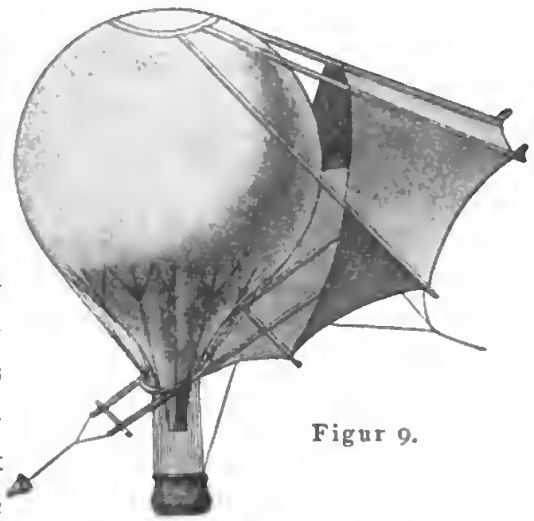
Sie formierten die erste Luftschifferkompagnie, deren Hauptmann, der Physiker Coutelle, im Parke des Schlosses Meudon bei Paris, in dem sich das französische Militär-Luftschifferetablissement heute noch befindet, nach Angaben des Chemikers Lavoisier einen Ofen baute, in dem aus Wasserdämpfen Wassergas zur Füllung des ersten Militär-Luftballons „Entreprenant" hergestellt werden konnte, da man in diesen bewegten Zeiten den Schwefel zur Pulverfabrikation verwenden wollte, anstatt ihn auf Schwefelsäure-Wasserstoffgas zu verarbeiten. Schon 1794 zog Coutelle mit seiner Kompagnie und dem Entreprenant noch rechtzeitig nach Maubeuge, das dann von den Österreichern belagert wurde, baute hier wieder einen Wassergas-Ofen, und konnte den Ballon in 50 Stunden hochbringen. Coutelle stieg dann täglich mit einem Generalstabsoffizier auf, und konnte die Stellungen der Österreicher erkennen, die sich vergebens bemühten, den Ballon herabzuschiessen. Der Entreprenant nahm noch an den Schlachten bei Charleroi und bei Fluirus teil und verunglückte dann beim Transport. Der Entreprenant war aus gefirnister Seide hergestellt, er wurde von zwei

Fesseltauen gehalten, die an einem Äquatorring am Ballon befestigt wurden. Die späteren Ballons dieser Zeit wurden aus einer besonderen sehr festen Seide zusammengenäht und sollen mit einem besonderen Firnis gasdicht gemacht worden sein. Mit einer Füllung sollen sie wochenlang brauchbar gewesen sein. Der Durchmesser der kugelförmigen Ballons betrug 9—10 Meter; die obere Hälfte der Kugel umgab eine Leinenkappe, an der die Fesselseile angriffen. Auch die Gasöfen waren so verbessert, dass sie in 12 Stunden aufgebaut werden konnten. Man führte sie überall mit. Sie bestanden aus einer Anzahl eiserner Rohre, die über ein Rost eingemauert wurden. Die Rohre wurden mit Eisenspänen beschickt, und in Rotglut versetzt, dann wurde an der einen Seite der Rohre Wasserdampf eingeleitet, der in den Rohren sich zersetzte und ihnen als Wassergas an der andern Seite entnommen werden konnte. Das Gas wurde nun gewaschen und in die Ballons gefüllt. Die französischen Militär-Luftschiffer arbeiteten also schon vor mehr als 100 Jahren mit einem Apparat von hoher Vollkommenheit, ja, man kann sagen, auch der Fesselballon-Betrieb ist bis heute nicht weit über den damaligen Entwicklungsstand herausgekommen. Die Truppe war sehr beweglich. Im folgenden Jahre zog die Luftschiffertruppe mit ihren Ballons bis nach Deutschland, nach Stuttgart, Donauwörth, nach Augsburg; bei Würzburg geriet ein Ballon in die Hände der Feinde, die aber nicht viel damit anzufangen wussten; bis schliesslich Napoleon, der nicht viel von den Fesselballons hielt, im Jahre 1798 die Truppe ganz aufhob. Erst nach mehr als 70 Jahren, in den Kriegsnöten des deutsch-französischen Krieges, erstand sie zu neuem Leben.

Heutzutage hat der Fesselballon auch vor allem eine militärische Bedeutung für Observations-Zwecke, und auch wohl zum Halten der Antennen für die drahtlose Telegraphie.

Die Form der militärischen Fesselballons hat sich zu der des Drachenballons entwickelt, eines Luftballons, der mit einer Segelfläche ausgerüstet ist, auf die der Wind einwirken kann. Die Idee rührt vom preussischen Hauptmann Gaede her (1873),

der einen lanzettförmigen Ballon mit einer Segelfläche ausrüsten wollte. Später, 1885, konstruierte der englische Professor E. Douglas Archibald einen Drachenballon, der in Figur 9 abgebildet ist.[1]) Die Segelfläche, der Drache, bestand aus einem Achteck, das durch Bambusstangen versteift wurde, wie die Figur erkennen lässt. Einen weiteren bedeutenden Schritt vorwärts bedeuten aber erst die Drachenballons der deutschen Militärs Bartsch v. Sigsfeld und v. Parseval, (von letzterem rührt auch der bekannte deutsche unstarre Luftschiffstyp her) die dem Ballon selbst die zweckentsprechendste Form gaben. Die Hülle des gefesselten Kugelballons wird bei stärkerem Wind eingebeult und sehr ungleichmässig beansprucht, der Kugelballon steht auch sehr unruhig; beim Drachenballon Parseval-Sigsfeld sind alle Beanspruchungen durch den Wind mehr ausgeglichen, wie die Fig. 10, 11 und 12 ohne weiteres erkennen lässt.



Figur 9.

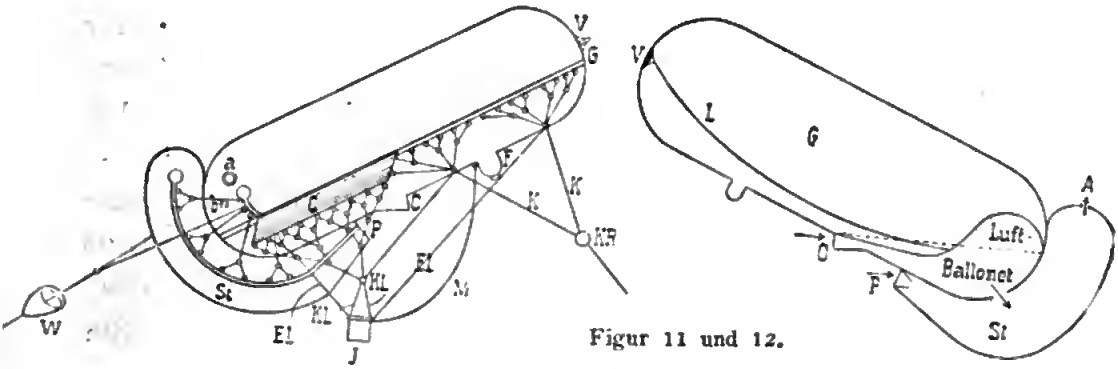
Der Drachenballon bildet einen schräg gegen den Wind stehenden Zylinder G in Fig. 12 und 11 mit halbkugelförmigen Enden, der durch eine Wand in einen grösseren vorderen, und einen kleineren hinteren Teil getrennt ist.[1]) Der vordere grössere Teil ist verschlossen und enthält das Traggas; der hintere Teil ist unten gegen den Wind bei O offen, er füllt sich selbsttätig mit Wind und drückt als Ballonet auf den vorderen Traggasteil, so dass der vordere Teil durch den Winddruck nicht eingebeult wird. (So wird der Zweck des unteren Teils von der Firma, die den Drachenballon baut, erklärt. [August Riedinger in Augsburg.]) Dieser Zylinder wird nun durch Steuer,

1) Die Figuren Nr. 9, 11, 12 sind aus „Luegers, Lexikon der gesamten Technik, II. Aufl.“, entnommen.

Windfänge und Segel in seiner Stellung gegen den Wind festgehalten. Das Steuer St ist der am hinteren Ende sichtbare Wulst;

Figur 10.

es besteht aus einem nach vorne sich verjüngendem Sack, mit einem vorderen, gegen den Wind gerichteten Windeinlass P und einem am andern Ende des Steuers befindlichen Auslass A. Die Querschnitte von Wind-Ein- und Auslass sind so gewählt, dass in dem Sack ein Luftüberdruck entsteht, der ihn aufbläst und dadurch wie im Steuer den Ballon in die Windrichtung einstellt. Zur

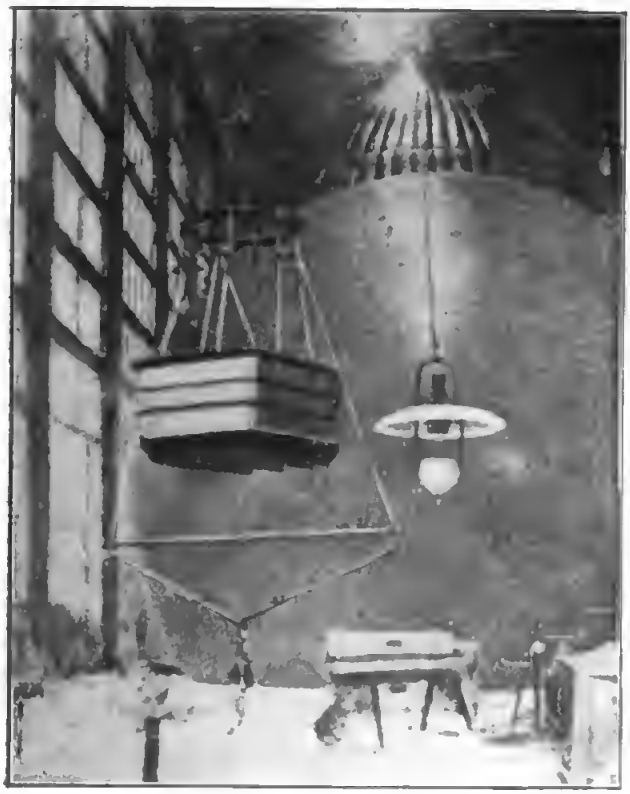


Figur 11 und 12.

Verminderung der Pendelungen des Drachens, die die Beobachtung vom Ballon aus stören, dienen die Segel C, die über dem Windfang seitlich am Zylinder sichtbar sind. Der Wind wirkt auf die Segel, wie auch auf die ganze Oberfläche des Drachens, wie auf die Tragflächen eines Gleitfliegers, wodurch der Auftrieb des Traggases in vorteilhafter Weise unterstützt wird. Denn die Höhenstellung des Drachens ist die Resultante zunächst aus dem Auftrieb des Traggases einerseits und dem Drachengewicht und der vertikal nach unten gerichteten Komponente des Winddruckes auf den Drachen andrerseits. Mit zunehmendem Winddruck würde also der Drachen immer tiefer herabgedrückt werden. Dem wirkt aber die Stellung des Zylinders zur Windrichtung, und auch die Segeleinrichtung entgegen, da mit wachsender Windgeschwindigkeit der dynamische Auftrieb wächst und den Auftrieb der Traggase unterstützt. Die Höhenschwankungen des Drachens werden also durch seine Bauart abgeschwächt. Die Stellung des Ballons wird ferner unterstützt durch die Windfänge

W. Es sind dies kleine Rohrstutzen, die in langer Reihe als Schwanz dem Ballon anhängen. Wie man ja auch an gewöhnlichen Sportsdrachen Schwänze zur Stabilisierung anbringt.

Das Abblaseventil V des Gasballons G wird durch die Leine L selbsttätig geöffnet, wenn das Gas sich soweit ausgedehnt hat, dass das Ballonet fast entleert ist.



Figur 13

Der Korb J für den Beobachter hängt an einem besonderen Leinensystem KL, das zu einem starken Gurt am Äquator des Ballons führt. Ein andres Leinensystem KKR, das ebenfalls von diesem Gurt ausgeht, führt zur Fessel, die aus einem Stahlkabel besteht, das unten an der Erde um die Kabelwinde geschlungen ist. Der Traggasballon besitzt neben dem Sicherheitsventil V gegen Platzen, von dem auch ein Blitzableiter zur Fessel führt, noch beim Füllansatz F ein Ventil, das durch die Leine M gezogen werden kann.

Figur 10, 11 und 12 zeigt einen Drachenballon für militärische Zwecke, der Beobachter aufnehmen kann. Die Ballons besitzen gewöhnlich 600 bis 800 cbm Rauminhalt; sie können bis zu Windgeschwindigkeiten von 20 m/sek in der Luft bleiben. Die Ballons für die drahtlose Telegraphie und andere Zwecke sind entsprechend einfacher. Das Traggas ist

gewöhnlich Wasserstoffgas, über dessen feldmässige Gewinnung der Abschnitt „Die Traggase der Motorballons“ handelt.

Ausserdem findet der Fesselballon noch auf Ausstellungen als „Ballon captiv“ Verwendung. Hier trifft man aber wohl stets als Fesselballon den gewöhnlichen Kugelballon, mit dem relativ viele Personen gleichzeitig in die Luft befördert werden können. Er wird von ca. 1000 cbm Rauminhalt bis zu riesigen Grössen ausgeführt. Diese Ballons unterscheiden sich wenig von den Freiballons; meistens werden sie aber mit Ballonet ausgeführt. Zu erwähnen wäre auch die Befestigung des Haltekabels am Korbring, die Figur 13 erkennen lässt. Das Kabel wird an dem trapezförmigen Halter angeschlossen, der andrerseits am Korbring ansitzt. Dadurch soll verhindert werden, dass der Ballon in der Luft anfängt, um seine vertikale Achse zu rotieren, was für die Insassen sehr unangenehm ist. Der im Hintergrunde der Figur sichtbare gefüllte Ballon ist zur Inspektion mit Luft gefüllt, damit Undichtigkeiten entdeckt und repariert werden können.

Die Kabelwinden werden gewöhnlich durch Motore getrieben. Je stärker der Motor ist, desto schneller kann man den Ballon einholen. Gewöhnlich geht man nicht über 1 m per Sekunde.

Luftbahn.

Wir erwähnten schon, dass man am einfachsten ein lenkbares Luftschiff erhält, wenn man einen Fesselballon an einen Wagen bindet, und den Ballon mit dem Wagen nachschleppt. Wenn man von Observationszwecken ganz absieht, so scheint es auf den ersten Blick, dass die Kombination für Beförderungszwecke sinnlos wäre. Prüft man sie aber näher, so findet man, dass ein praktischer Vorteil dabei herausspringt.

Wenn man nämlich den Wagen auf der Erde ohne Ballon vorwärts bewegt, so muss hierfür die Arbeit von $\eta \cdot P \cdot \frac{V}{75}$ PS aufgewendet werden, wenn P das Gewicht des Wagens in kg, V die Bewegungsgeschwindigkeit in m/sek und η der sogenannte Reibungskoeffizient ist, der für Wagen, die sich auf Eisenbahn-

Schienen bewegen, etwa den Wert von 0,004 bis 0,005 besitzt, auf Strassenbahnschienen ist nach der „Hütte“ $\eta = 0{,}006$ bis 0,008, auf chaussierten Strassen 0,016 bis 0,028, bei ausgefahrenen und mit Schlamm bedeckten chaussierten Strassen sogar bis 0,035; bei Erdwegen beträgt $\eta = 0{,}080$ bis 0,160, bei Sandwegen gar 0,15 bis 0,30. Die Betriebskraft für die Bewegung des Wagens ist also, abgesehen von der Bewegungsgeschwindigkeit, vom Wagengewicht und der Beschaffenheit des Weges abhängig.

Befestigt man nun einen Ballon von passender Form und in passender Weise am Wagen, der das gesamte Gewicht des Wagens tragen kann, ohne ihn aber in die Luft zu entführen; wir kommen auf das Wie noch zurück, so ist $P = O$, der Wagen wiegt nichts mehr, es ist also auch keine Betriebskraft auf seine Bewegung zu verwenden, sobald er erst einmal in Bewegung ist, (abgesehen vom Luftwiderstand) anstatt seiner ist der Ballon mit der Geschwindigkeit V durch die Luft zu treiben. Ist hierzu weniger Betriebskraft notwendig, als zur Beförderung des Wagens unter der Last seines eigenen Gewichts, so ist diese Kombination vom Betriebskraftstandpunkt aus vorteilhaft.

Der für die Bewegung eines gut geformten Luftschiffs notwendige Arbeitsaufwand beträgt nun ungefähr $0{,}0010\,D^2 V^3$ PS, wenn das Luftschiff nicht durch Treibschrauben bewegt, sondern wie hier, vom Wagen aus geschleppt wird. D ist der grösste Durchmesser der Ballonhülle in Metern. Die Spitzen dieses Ballons müssten wenigstens 5 D lang sein. Man vergleiche Gleichung 30 im Abschnitt „Die analytische Berechnung des Luftwiderstandes“. Das Luftschiff darf auch keine aus der Hülle hervorragenden Flächen besitzen. Zum Tragen des Wagens von P kg Gewicht gebraucht man einen Ballon von etwa P cbm Rauminhalt, wenn man ihn mit Wasserstoffgas füllt. Darf der Durchmesser 1 : 10 der Länge des Ballons betragen, und ist der Ballon ungefähr cylindrisch geformt, abgesehen von den Spitzen, so wird demnach ungefähr $D = 0{,}5 \cdot P^{1/3}$ und die notwendige Antriebskraft $= [(0{,}00025 \cdot V^2) : P^{1/3}] \cdot V \cdot P$ PS, worin die Klammergrösse kleiner sein muss,

als η, wenn die Beförderungsart vor der gewöhnlichen Vorteile bieten soll. Je grösser das Gewicht des Wagens ist, desto vorteilhafter wird offenbar die Beförderungsart vermittels Ballon, je grösser aber V ist, die Bewegungsgeschwindigkeit, desto ungünstiger wird diese Art der Beförderung. Tabelle IV lässt das Verhalten der Klammergrösse erkennen:

Tabelle IV

Werte von V m/sek	Werte von $(0{,}00025 \cdot V^2) : P^{1/3}$ P = 1000	5000	10000	50000 kg
10	0,00250	0,00147	0,00117	0,00066
20	0,01000	0,00587	0,00467	0,00266
30	0,02250	0,0133	0,01050	0,00600
40	0,0400	0,0234	0,01870	0,0107
50	0,0635	0,0367	0,02940	0,0167

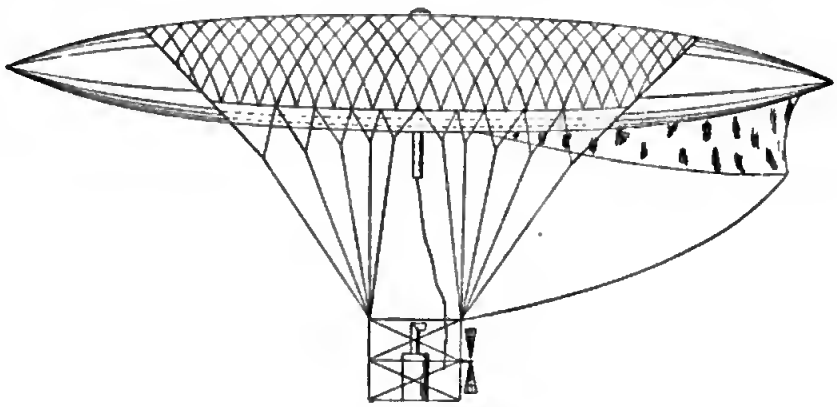
Wir sehen, dass der Wert der Klammergrösse, der bei der Beförderungsart durch den Ballon an Stelle von η bei der gewöhnlichen Beförderungsart auf Rädern tritt, für Geschwindigkeiten von 10 m/sek oder 36 Kilometer/Stunden stets bei weitem kleiner ist, als der Reibungskoeffizient selbst für ein Fahrzeug, das sich auf Eisenbahnschienen bewegt. Denn η beträgt auch dann noch ca. 0,005 bis 0,006, während der entsprechende Wert bei der Beförderung mit dem Luftballon unter 0,0025 bleibt; das heisst, das Fahrzeug würde bei der neuen Beförderungsart etwa nur die Hälfte bis den zehnten Teil der Betriebskraft erfordern, als auf Eisenbahnschienen. Auch bei 20 m/sek Geschwindigkeit oder 72 Km/Std. erweist sich die Beförderung auf Schienen bei grossen Gewichten noch ungünstiger; erst bei 30 m/sek oder 108 Km/Std. Geschwindigkeit erfordern beide Beförderungsarten nach der Tabelle bei grossen Gewichten etwa die gleiche Betriebsarbeit, bei sehr grossen Gewichten ist die Luftschiffbeförderung aber noch günstiger. Durch Wind, namentlich durch Seitenwind werden die Betriebsverhältnisse des Luftschiffs aber ungünstiger beeinflusst als die eines Fahrzeugs auf der Erde. Den Seitenwind könnte man durch Umbauten abhalten.

Diese Verhältnisse haben zur Gründung einer „Luftbahn-Gesellschaft“ in Deutschland geführt, die durch in der geschilderten Weise entlastete Bahnwagen einen Schnellverkehr einrichten will. Die erste Versuchsstrecke soll von Marburg nach Frankfurt a/M. führen. Die Fahrzeuge bestehen aus einem Ballon von langer zylindrischer Form mit zugespitzten Enden und starrer Bauart, der zwischen Schienen einige Meter über der Erde geführt wird. Die Schienen sind an Führungsböcken befestigt. Unter dem Luftballon, teilweise in ihn hineingebaut, befindet sich der Passagierraum und der Führerstand. Die Luftbahnfahrzeuge sollen durch Elektromotore in Bewegung gesetzt werden, die ihren Strom aus Zentralen erhalten. Die Führungsmaschinen, an denen sich das Fahrzeug auch vorwärts ziehen soll, führen den Strom zu. Das Fahrzeug soll durch Wasserballast immer grade soweit belastet werden, dass es gewichtslos zwischen den Führungsschinen dahingleitet. Die Fahrgeschwindigkeit soll eine bedeutende sein. Die Tabelle III zeigt zwar, dass theoretisch nichts dagegen einzuwenden scheint, die Beförderungsart würde sich vielleicht aber noch besser für grosse Lasten bei kleineren Geschwindigkeiten eignen. Denn die Anlage des Fahrzeugweges, also der eigentlichen Bahn soll sich nach Angaben der Gesellschaft billiger stellen, als der Oberbau einer gewöhnlichen Eisenbahn. Man darf jedenfalls auf die praktische Entwicklung dieses interessanten Projektes gespannt sein.

Die Motorballons.

Der freie Luftballon lässt sich nur in vertikaler Richtung willkürlich dirigieren, und nur unter Verlust von Gas oder von Ballast, also von der Lebenskraft des Ballons. Dadurch vermag der erfahrene Luftchsiffer auch die horizontale Bewegung des Ballons etwas zu beeinflussen, wenn er in irgend einer erreichbaren Höhe Luftströmungen aufsuchen kann, die ihn seinem Reiseziele näher bringen, oder wenn er vorübergehend landen kann, um

vorteilhaftere Luftströmungen abzuwarten. In der Praxis macht das natürlich nicht die Lenkbarkeit des freien Luftballons aus; im allgemeinen ist der Luftballon ein hilfloses Wrack. Sobald es denn auch der Stand der Technik erlaubte, begann man Motore und Treibschrauben in den Luftballon einzubauen. Im Jahre 1852 und 1855 glaubte Henry Giffard in Frankreich den Versuch mit einem Dampfmotor, mit dem er ein zigarrenförmiges Luftschiff, Figur 14, ausstattete, wagen zu können. Der Erfolg



Figur 14.

der Versuche war, dass sich der erste Luftschiffer-Verein mit der Devise „Plus lourd que l'air, schwerer als Luft!" bildete, dessen Gründer (Nadar und der Marquis Ponton d'Amécourt) und Anhänger die Idee, einen Luftballon lenkbar machen zu wollen, für aussichtslos hielten, und das Heil von Flugmaschinen erwarteten. Auf der Weltausstellung in London 1868 waren denn auch schon Flugmaschinenmodelle ausgestellt. Aber auch diese Bewegung war noch verfrüht; es fehlte an Motoren. Der Dampfmotor ist für Flugzwecke nun mal nicht zu gebrauchen; von den Gasmotoren war nur der Zweitaktmotor von Lenoir seit 1860 am Markt, der aber noch unzuverlässig arbeitete. Wir wissen heute, dass das nicht am Zweitaktsystem liegt, denn es existieren jetzt brauchbare Zweitakt-Luftschiffmotore (z. B. der Grade-Motor).

Der Deutsch-Französische Krieg brachte dem Bestreben, den Luftballon doch unabhängig von den Luftströmungen zu machen,

wieder starke Anregungen; aus der belagerten Feste Paris setzen sich die Franzosen ungeniert durch Ballons mit der Aussenwelt in Verbindung, allerdings nur in einseitige Verbindung, denn hinein nach Paris ist kein Ballon gelangt, trotz mehrfacher Versuche. Das zeigte dem Belagerer wie den Belagerten so recht, dass ein nur mässig lenkbares Luftschiff für den Krieg, namentlich für den Festungskrieg doch von unschätzbarer Bedeutung sei. In Deutschland suchte denn auch Paul Hänlein im Dezember 1870 in aller Eile das lenkbare Luftschiff zu verwirklichen. Er stellte zunächst ein grösseres Modell her, und danach, als dieses bei seiner Ausstellung in Mainz im Dezember 1870 grosses Aufsehen erregte, ein Luftschiff mit zylindrischem Ballon und kegelförmig zugespitzten Enden von 50,4 m Länge bei einem Durchmesser von 9,2 m her. Der Rauminhalt betrug ca. 2400 cbm. Die Hülle konnte durch ein Ballonet stets prall gehalten werden. Dicht unter der Hülle war ein langer gitterförmiger Kiel aus Bambus aufgehängt, der die Gondel trug. Das Luftschiff gehörte also dem System an, das man heute als „halbstarres" kennzeichnet. Es besass eine Treibschraube, die an der Gondel befestigt war. Die Schraube wurde von einem 6 PS Lenoir-Gasmotor angetrieben, der sein Betriebsgas aus der Ballonhülle entnehmen konnte. Am 13. und 14. Dezember 1872 wurden in Brünn (eine österreichische Gesellschaft hatte die Mittel zum Bau aufgebracht) Versuche mit dem Luftschiff angestellt, die befriedigende Resultate geliefert haben sollen. Die Eigengeschwindigkeit des Luftschiffs soll 5,2 m/sek betragen haben. Dennoch schlief die Sache wieder ein, der Krieg war längst vorbei, über ein Jahr war seitdem vergangen, und es fand sich in der Gründerzeit bessere Gelegenheit für die Geldmänner, ihr Geld anzulegen.

Inzwischen wurde der Gasmotor weiter verbessert, 1878 entstand der Viertakt-Motor, der Otto-Motor (mit dem Otto-Motor kam wenigstens der Viertaktmotor zum ersten Mal auf den Markt), durch den den Petroleummotoren neue Entwicklungsmöglichkeiten erschlossen wurden. Inzwischen war ja auch erst das Petroleum

und sein Derivat, das Benzin ein allgemein bekannter und käuflicher Stoff geworden, während vorher das Rüböl, das man erst in allerletzter Zeit rationell für Motoren verwenden könnte, und anderes den Markt beherrschte; erst 1855 soll durch Sillimann in Amerika die erste Petroleumlampe konstruiert worden sein, erst mit den neuen Lampen kam das weiteren Kreisen ganz unbekannte und natürlich entsprechend teure Petroleum ins Land, auf den Markt. Aus den neuen Faktoren: Petroleum resp. Benzin, und Viertaktmotor entstand nun der brauchbare „Motor für flüssige Brennstoffe", der von Daimler bald marktfähige Formen erhielt.

Im Jahre 1883 konstruierten nun Baumgarten und Wölfert wieder ein lenkbares Luftschiff mit einem Daimler-Benzinmotor.

Mit diesem Bau beginnt die Entwicklung unserer Lenkballons in grader Linie bis zu den heute gebräuchlichen Typen. Einige Seitensprünge wurden noch in Frankreich gemacht; dort bauten 1883/1884 die Brüder Tissandier ein Luftschiff, dessen Schraube von einem Elektromotor angetrieben wurde. Der elektrische Strom wurde von Chromsäure-Elementen geliefert. Mit einem ähnlichen Luftschiff, der „La France", hatten die französischen Hauptleute Renard und Krebs, denen 200000 Frcs vom Staat dazu zur Verfügung standen, im Jahre 1884 den ersten praktischen, weiteren Kreisen ohne weiteres einleuchtenden Erfolg: es gelang ihnen, unter 6 Versuchen 5 mal nach einer 20 Minuten langen Fahrt zum Ausgangspunkt zurück zu kehren. Ihr Luftschiff erreichte eine Eigengeschwindigkeit von 6,5 m, die grösste Geschwindigkeit, die bis dahin erzielt worden ist. Der Ballon war birnenförmig gestaltet, das dicke Ende vorn; er war 50,5 m lang und hatte 8,4 m grössten Durchmesser. der Rauminhalt betrug 1864 cbm; ein 33 m langer und 2 m hoher Kiel aus Bambus befand sich 4 m unter dem Ballon. An dem Kiel waren alle Armaturen des Luftschiffs starr befestigt, vorne die zweiflüglige Treibschraube, zu deren Bewegung ein 9 PS Elektromotor diente. Den elektrischen Strom lieferten wieder galvanische Elemente. Eine Eigengeschwindigkeit von nur 6,5 m genügt für die Praxis nicht. Der Elektro-

motor hat auch keine Bedeutung für den Luftschiffbetrieb, ausgenommen, wenn der Strom dem Motor von einer Zentrale zugeführt werden kann. Einen solchen Fall haben wir im vorigen Abschnitt kennen gelernt.

In Deutschland blieb man beim Benzinmotor, trotzdem man nicht gleich so erfolgreich war, wie die Franzosen. Wölfert experimentierte bis 1897 mit Luftschiffen seiner halbstarren Konstruktion, und verunglückte schliesslich tötlich mit ihr über dem Tempelhofer Felde bei Berlin dadurch, dass der Ballon von dem zu nahen Motor aus Feuer fing. Auch der Österreicher Schwarz war mit einem 3700 cbm Luftschiff wenig glücklich, bei dem zum ersten Mal ein starres Ballongestell, an das die übrigen Konstruktionsteile sich starr anschliessen, verwendet war. Er experimentierte ebenfalls über dem Tempelhofer Felde bei Berlin in den Jahren 1895 bis 1897, und verunglückte mit dem Luftschiff, weil eine der beiden Seitenschrauben versagte, es verlor dadurch das Gleichgewicht und stürzte zu Boden. Schwarz konnte sich durch einen Sprung retten.

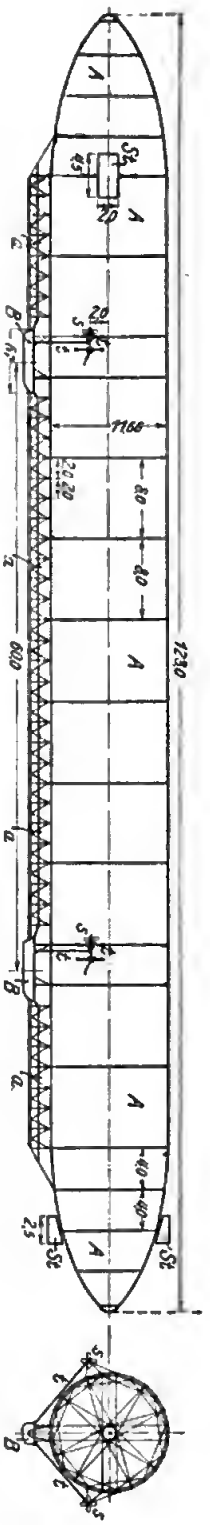
Die Motorballonfrage war aber nun in so breiten Fluss gekommen, dass sie die kurz hintereinander folgenden Unglücke auch in Deutschland nicht mehr aufhalten konnten. Schwarz zwar ist es nicht mehr geglückt, die Mittel zu einem Neubau aufzubringen, das starre, wie man wohl sagen kann: das deutsche Luftschiff-System hatte aber im Grafen von Zeppelin einen Anhänger gefunden, der mit seltener Ausdauer und Energie an den Ausbau dieses Luftschiffsystems ging. Auch das halbstarre, von Wölfert benutzte Luftschiffsystem, das man das französische System nennen muss, wurde weiter praktisch ausgebaut, sowohl in Deutschland, als in seinem Mutterlande Frankreich. Auch in andern Ländern wurden Bauten nach diesem System ausgeführt. Daneben entwickelte sich noch ein dritter Luftschifftyp: das sogenannte unstarre Luftschiff, das seine wichtigsten Vertreter in Deutschland hat. Wir wollen uns einige der verschiedenen moderneren Luftschiffe näher ansehen.

Das deutsche Motorballonsystem.

(Das starre System.)

In den Jahren 1898/1900 baute Graf von Zeppelin sein erstes Luftschiff des starren Systems, dessen Einrichtung Figur 15 und 16 erkennen lässt. Ein starres Gerippe von 128 m Länge bei 11,66 m Durchmesser aus Aluminiumblechen, die durch Spanndrähte versteift sind, ist mit Stoff umzogen, und so ein Behälter geschaffen, in dessen durch die Spanndrähte gebildeten Abteilungen A 17 Traggasballons untergebracht sind, die ca 11000 cbm Wasserstoffgas aufnehmen können. Das Ballongestell läuft nach unten in den Kiel a aus, der zwei Gondeln B enthält. In den Gondeln befanden sich je ein 16 PS Benzinmotor, durch den je zwei der seitlich am Gestell anmontierten Treibschrauben S vermittelst der Transmission t angetrieben wurden. Das Luftschiff besass also vier Treibschrauben, für die 32 PS zur Verfügung standen. Das war für die damaligen Verhältnisse eine gewaltige Leistung an Bord eines Luftschiffs.

Über die Eigengeschwindigkeit des ersten Zeppelin sind sichere Daten nicht bekannt geworden. Sie soll 8, nach andern Quellen bis 9 m/sek. betragen haben. Der Lauf des Luftschiffs wurde durch die Steuer St geregelt, vorn oberhalb und unterhalb der Spitze befanden sich vertikale Steuerflächen zur Steuerung in der horizontalen Ebene, und hinten an den Seiten befanden sich horizontale Steuerflächen zur Steuerung in vertikaler Richtung. Die Steuerwirkung sollte durch ein verschiebbares Laufgewicht am Kiel unterstüzt werden. Das Luftschiff konnte ausser 5 Personen noch 350 kg Ballast tragen. Es war auf dem Bodensee stationiert,



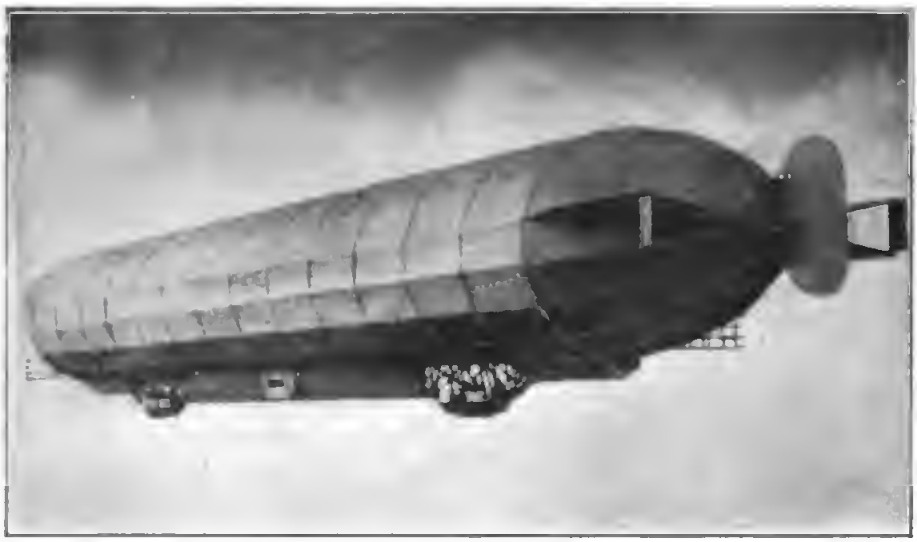
Figur 15, 16

und ist dort, über der Wasserfläche, drei mal aufgestiegen, beim zweiten Aufstieg war es über eine Stunde in der Luft. Nach dem dritten Aufstieg war es nicht mehr gebrauchsfähig.

Die wertvollen Erfahrungen, die man mit dem Zeppelin I gesammelt, kamen dem Zeppelin II zu gute, den der Graf nach hartem Kampfe mit den finanziellen Mächten im Jahre 1906 zum Versuch bereit fertig gestellt hatte. Die Ballonkammer war wieder 128 m lang, bei 11,7 m Durchmesser, und 11431 cbm Rauminhalt. Das Luftschiff wog insgesamt 9470 kg, der Auftrieb der Traggase betrug ca. 12575 kg, der verfügbare Auftrieb erreichte also ca 3100 kg. Es besass wieder 2 Daimlermotore, die aber 170 PS leisten konnten, und vier Treibschrauben antrieben, die diesmal nur drei Flügel hatten, nicht vier, wie die Schrauben des Zeppelin I. Dieses Luftschiff erreichte nach den eigenen Angaben Zeppelins mit einem Motor eine Sekundengeschwindigkeit von 11,1 m oder 40 Km/Std, mit 2 Motoren 13,9 m/sek oder 50 Km/Std. Nach anderen Quellen soll die grösste Geschwindigkeit gar 15 m/sek, oder 54 Km/Std betragen haben. Wenn das vielleicht übertrieben ist, so lässt das tatsächlich Erreichte doch alles bis dahin erzielte weit hinter sich. Auch nachher haben andre Konstrukteure ähnliche Geschwindigkeiten nicht erlangen können. Und doch ist das eine Leistung, die man von einem praktisch brauchbaren Luftschiff unbedingt verlangen muss, denn Windgeschwindigkeiten von 10, 12 und mehr m/sek kommen so oft vor, dass ein Luftschiff, das gegen diese Winde machtlos, in seiner Brauchbarkeit sehr beschränkt ist.

Der Zeppelin II verfügte also über grössere Motorkräfte, die Schrauben waren verändert, sie konnten von den Motoren auch vor- und rückwärts bewegt werden, was durchaus nötig ist, da sich das Luftschiff aus voller Fahrt nach Abstellung der Motoren noch fast eine halbe Stunde von selbst weiter bewegen würde; und die Steuereinrichtung war anders gestaltet. Mit den Steuereinrichtungen ist viel experimentiert worden, schliesslich erwies sich für die Seitensteuerung ein Hecksteuer nach Art der Schiffs-

steuer als das Zuverlässigste. Figur 17 lässt eine spätere Form dieser Einrichtung erkennen. Kleine Hilfssteuer zwischen den Beruhigungsflächen unterstützten die Wirkung des Hauptsteuers. Die Höhensteuer bestanden jetzt aus je vier übereinander angeordneten Flächen, die vorn und hinten an jeder Seite des Ballons verstellbar angebracht waren. Die Flächen konnten sowohl von der vorderen wie von der hinteren Gondel zusammen oder vorn oder hinten besonders mehr oder weniger geneigt werden,



Figur 17.

und produzierten bei der Höchstgeschwindigkeit des Luftschiffs einen dynamischen Auftrieb von 8 bis 900 kg, wenn sie 17 Grad gegen die Horizontale geneigt wurden. Der dynamische Auftrieb konnte also die Steigefähigkeit des Luftschiffs unabhängig vom Auftrieb der Traggase wirksam unterstützen[1]).

Die Gashüllen des Zeppelin II entstammten der Kontinental Kautschuk-Kompagnie in Hannover. Sie bestanden aus gleichlaufendem doppelten Ballonstoff mit mehreren Gummischichten. Das Gewicht des Stoffes betrug 230 Gramm per qm. Die Prüfung

1) Man vergl. „Über die Wirkung der Höhensteuer beim Zeppelinschen Luftschiff" von A. de Quervain in den Illustrierten Äronautischen Mitteilungen, Heft 12 von 1908.

des Stoffes nach seiner Verwendung ergab einen Auftriebsverlust von 3 Gramm per qm in 24 Stunden. Für das ganze Luftschiff mit ca. 7500 qm Ballonstoff ergibt das einen Auftriebsverlust von 22 kg in 24 Stunden, per Stunde also weniger als 1 kg[1]). Selbst wenn diese Verluste praktisch bedeutend grösser sind, sagen wir 10 kg per Stunde, so werden sie doch geringer sein, als die natürliche Gewichtsverringerung des Luftschiffs während der Fahrt, die

Figur 18

im Stoffwechsel des zahlreichen Personals (12 Personen) und im Schmieröl- und Benzin-Verbrauch der Motoren (ca. 0,3 kg per PS und Stunde) ihren Grund haben, und die bei längerer Fahrt wohl sogar zum Abblasen von Traggas nötigen werden. Wenn zu diesen normalen Erleichterungen noch solche durch Geschossabgaben kommen, können grosse Gasabgaben notwendig werden, wenn es nicht gelingt, vermittels der Höhensteuer, die ja das Luftschiff nicht nur dynamisch ent-, sondern auch belasten können, dynamisch

1) Man vergl. „Erfahrungen im Bau von Luftschiffen" von Dr. Ing. Graf Zeppelin in Nr. 30 der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure von 1908.

den Erdboden zu erreichen, und hier Ballast einzunehmen. Zeppelin versuchte auch, aus der Höhe mit Eimern Wasserballast zu schöpfen, wenn er über Wasserflächen schwebte.

Schon 1907 konnte Zeppelin eine Neuauflage seines Luftschiffs als Zeppelin III präsentieren, von dem Figur 17 eine Anschauung gibt. Es enthielt jetzt ca. 15000 cbm Wasserstoffgas einem Auftrieb von ca. 16800 kg; das Luftschiff wog 12000 kg, so dass ein Auftrieb von 4800 kg frei blieb. Die beiden Daimlermotoren von je 110 PS konnten diesmal zusammen 220 PS auf die 4 dreiflügligen Treibschrauben übertragen. Die Geschwindigkeit des Luftschiffs scheint aber bemerkenswerte Fortschritte nicht gemacht zu haben. Das Seitensteuer ist in Figur 15 gut sichtbar, ebenso die kleinen Hilfssteuer zwischen den Beruhigungsflächen und die vierflächigen Höhensteuer. Alle Steuerflächen hatten eine Vergrösserung erfahren. Mit diesem Luftschiff wurde nach bedeutenden praktischen Leistungen, unter anderm einer 12 Stunden Fahrt in die schweizer Voralpen, die denkwürdige Fahrt nach Mainz im August 1908 angetreten, und fast vollendet. Auf der Rückfahrt, bei einer Zwischenlandung bei Echterdingen, fand es ein ruhmreiches Ende im Kampf mit den luftschiffeindlichen Gewalten.

Wie ein Phönix aus der Asche entstand daraus der Zeppelin IV, das Reichsluftschiff „Zeppelin I", das nun auch schon manchen Sturm erlebt hat. Figur 18 stellt es bei einer Landung zu Lande dar, über die jetzt Erfahrungen gesammelt werden. Das Reichsluftschiff soll auch schon Höhen von 1800 m erreicht haben. Über die erzielten Fahrgeschwindigkeiten ist nichts sicheres bekannt geworden.

Dem Reichsluftschiff Z. I werden weitere folgen, eins ist schon in Betrieb genommen; der Graf unternahm zu Pfingsten 1909 mit ihm die viel bemerkte Reise von Friedrichshafen nach Bitterfeld, wobei er über 38 Stunden in der Luft blieb.

Auch von einem andern Konstrukteur wird in Deutschland ein Luftschiff des deutschen Systems in Bau genommen. Von dem bekannten Mannheimer Industriellen Lanz sind die Pläne

des Danziger Professors Schuette für ein starres Luftschiff von riesiger Grösse, von 19000 cbm Rauminhalt erworben worden. Das Luftschiff wird also ca. 4000 cbm Traggas mehr aufnehmen, als die Z.-Luftschiffe. Das Luftschiff soll mit Motoren von 500 bis 600 PS ausgerüstet werden; man hofft, damit eine Stundengeschwindigkeit von 50 bis 60 km erreichen zu können. Das Gerippe des Ballons wird aus Holz bestehen, wovon man sich Vorteile verspricht; es soll grössere Sicherheit bieten gegen Gasentzündungen durch das Auftreten von elektrischen Funken in metallischen Gerippen durch die Wirkung der Luftelektrizität oder der Wellen der drahtlosen Telegraphie. Die Gashüllen dieses Luftschiffs bestehen auf der Innenseite aus Goldschlägerhaut.

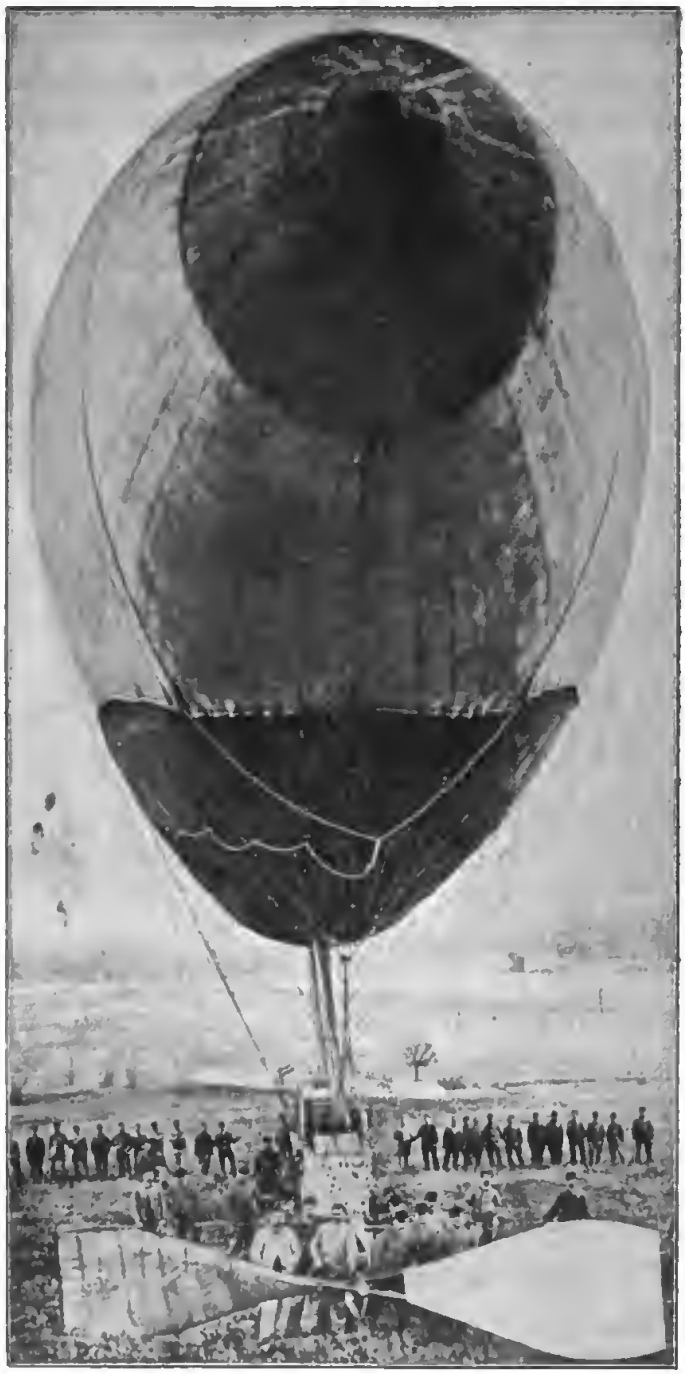
Das französische Motorballonsystem.

(Das halbstarre System.)

In Frankreich nahm die weitere Entwicklung von dem erfolgreichen, aber wegen der Verwendung eines Elektromotors praktisch unbrauchbaren „La France" der französischen Hauptleute Renard und Krebs ihren Ausgang, die in Figur 19[1]) abgebildet ist, und die, wie wir ausführten, den ersten sichtbaren Erfolg zu verzeichnen hatte. Zunächst knüpfte der in Paris lebende Brasilianer Santos Dumont mit zahlreichen Bauten von kleinen Motorballons an die „La France" an. Im Jahre 1898 gelang es ihm, mit seinem Luftschiff Nr. 6 den Deutsch-Preis von 100000 Frcs. zu gewinnen, indem er in einer halbstündigen Fahrt den Eiffelturm umkreiste und nach der Aufflugsstelle vor den Toren von Paris zurückkehrte. Nr. 6 besass einen Ballon von 622 cbm Inhalt bei 33 m Länge, die Gestalt war die selbe, wie die des späteren Luftschiffs von Santos Dumont in Figur 20. In der Traggashülle befand sich, wie bei allen nicht starren Luftschiffen, ein Ballonet, durch das die Gashülle stets in eine pralle Form gedrückt

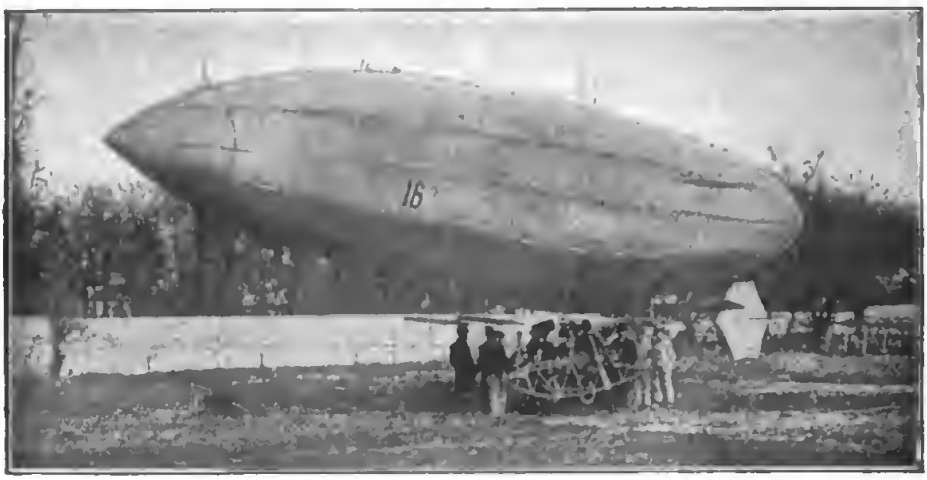
1) Mit Genehmigung des Herrn Obersileutnant Moedebeck.

werden kann. Der Benzin-Motor C. Buchet konnte 16 PS leisten und trieb eine zweiflüglige Treibschraube von 4 m Durchmesser an. Der Motor und die Schraube war an dem Bambusgerüst unter dem Ballon untergebracht, das auch als Gondel diente, wenn man diesen luftigen Aufenthaltsort so nennen darf. Das Luftschiff Nr. 6 erreichte eine Geschwindigkeit von 8 m/sek. Sein Luftschiff Nr. 9 war nur 260 cbm gross, und besass einen



Figur 19

Benzinmotor von nur 3 PS; er benutzte es zu zahlreichen Fahrten bei und über Paris und konnte meist zur Aufstiegstelle zurückkehren. Später baute er auch mal ein 1257 cbm Luftschiff mit einem 60 PS Motor; im allgemeinen bevorzugte er aber kleine und kleinste Luftschiffe. Den gleichen Weg verfolgt er übrigens auch im Flugsport, der ihm auch durch den Bau kompendiösester Motor-Gleitflieger von nur wenigen kg Gewicht mit nur schwachen Motoren viel verdankt, ein Weg, der meiner Meinung nach am schnellsten zum Ziele führt.

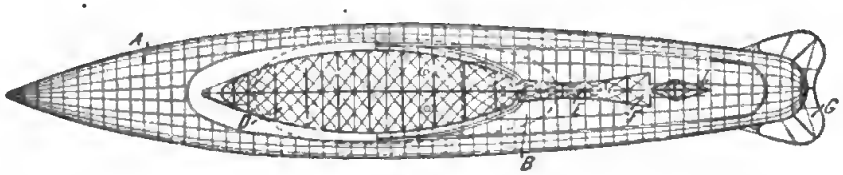


Figur 20

In Figur 20 ist ein Bau von Santos Dumont, Nr. 16, abgebildet. Das kleine Fahrzeug besitzt[1]) einen 8 PS Motor und eine zweiflüglige Schraube, die am hinteren Ende sichtbar ist. Der Gasballon, der natürlich wieder ein Ballonet besitzt, kann das Luftschiff allein nicht tragen, zum Aufsteigen muss das hinten vor der Schraube sichtbare kleine Tragdeck in Wirksamkeit treten. Das kleine Luftschiff ist also eigentlich ein Gleitflieger, aber ein Gleitflieger von sehr kleinem Gewicht, durch die Wirkung des Traggases im Ballon.

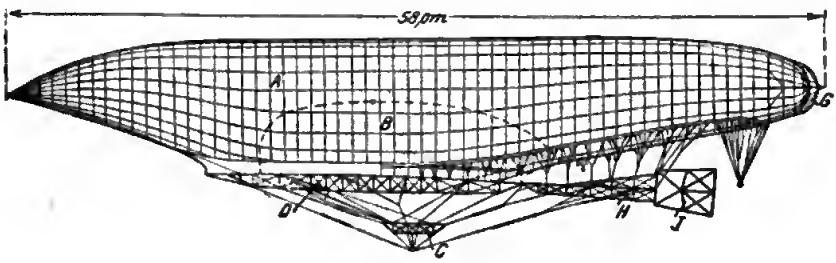
1) Nach der „Automobilwelt" No. 38, Berlin 1908.

Aber nicht nur ins rein Sportmässige hat sich der Luftschiffbau in Frankreich entwickelt. Durch die Arbeit Santos Dumonts und Zeppelins entstand eine ganze Reihe grösserer Luftschiffe der Herren Lebaudy-Juillot, deren Dimensionen in Tabelle VII auf Seite 106 zu finden sind. Auch andere Konstrukteure suchten das halbstarre Luftschiff zu vervollkommnen, nicht nur in Frankreich, auch in England, Spanien, Amerika usw. sind Luftschiffe dieses



Figur 21

Typs entstanden. Vor dem Jahre 1906 hielt man auch in Frankreich mit dem halbstarren System den Geschwindigkeitsrekord von etwa 11 m/sek., denn Zeppelin hatte es 1900 nur auf 8 bis 9 m/sek.



Figur 22

gebracht, nachher wurde aber diese Geschwindigkeit in Deutschland überflügelt.

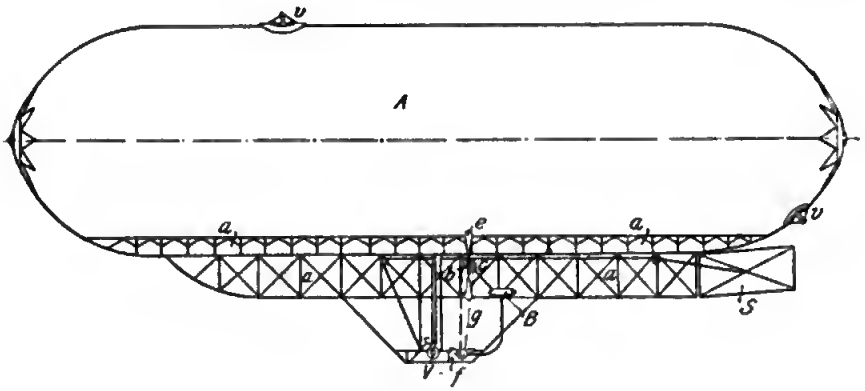
Das halbstarre Luftschiff lässt sich nicht so ohne weiteres von kleinen Dimensionen ins Grosse übersetzen. Das musste auch Santos Dumont mit seinem grossen Bau erfahren. Der Kiel bildet mit dem Motor und den Treibschrauben zwar eine starre Einheit, der Ballon aber kann nur mehr oder weniger elastisch damit verbunden werden. Der Ballon verursacht aber den Hauptwiderstand in der Luft, denn der Kiel lässt sich mit seinem Drum und Dran verhältnismässig leicht durch die Luft treiben. Nun lässt sich der

Ballon nicht so am Kiel befestigen, dass er vom Kiel resp. vom Motor mit der Spitze nach vorn nachgeschleppt wird. Ginge das, so wäre für die Erreichung jeder beliebigen Geschwindigkeit nur die Motorstärke massgebend. Der Ballon trägt aber den Kiel, und der Kräfteausgleich bringt es unter allen Umständen mit sich, dass da, wo der Ballon die Haupt-Last trägt, auch die Zugkräfte angreifen, die ihn durch die Luft treiben. Diese Stelle liegt aber nahe seinem Schwerpunkt. Je weiter also der Schwerpunkt nach der Längs-Mitte des Ballons zu liegt, ein desto grösserer Teil des Ballons wird von den Treibkräften durch die Luft geschoben, an-

Figur 23

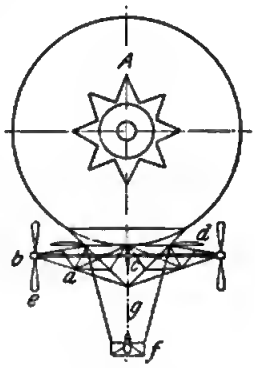
statt gezogen. Dieser Teil wird, da der Ballon nie ganz genau symetrisch geformt sein kann, nach der Seite abweichen wollen, und bei einer gewissen kritischen Geschwindigkeit den Ballon zum Ecken und Bocken bringen, wodurch für das Luftschiff gefährliche Situationen entstehen. Der Betrieb des Luftschiffs ist natürlich nur bei kleineren als den kritischen Geschwindigkeiten möglich. Um diese Grenze recht weit herauszuschieben, muss man entweder den Schwerpunkt des Ballons möglichst weit nach vorn legen, wie es schon Renard bei der „La France“ tat, wobei dann der grösste Querschnitt des Ballons weit nach vorn liegt, so dass der hintere längste Teil des Ballons ihn mit langem Hebelarm in die Fahrtrichtung

drückt, wenn der vordere kurze Teil ihn davon abdrängen will. Oder man muss hinter dem Schwerpunkt Flächen anbringen, die dem Drehmoment des abweichenden Ballonvorderteils das Gleichgewicht halten. Figur 22 und 21 zeigt ein Luftschiff Lebaudy-Juillot, bei dem solche Flächen, als Schwanz ausgebildet, sehr gut

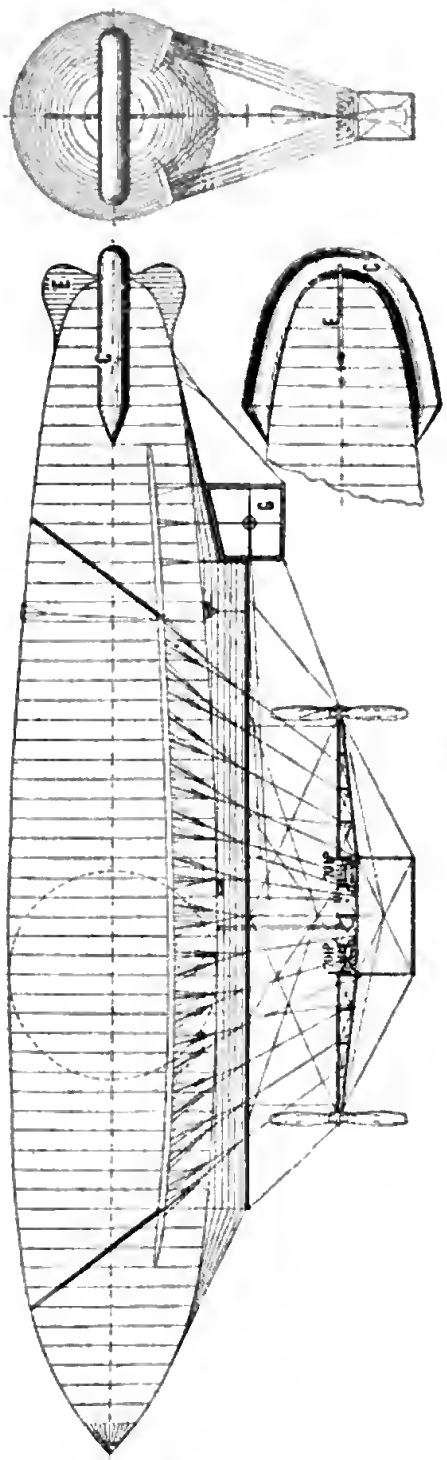


Figur 24

zu sehen sind. Dem Ballon *A* ist auch nicht die sonst übliche symetrische Gestalt gegeben, doch das ist wohl nebensächlich. Im Ballon findet sich das Ballonet *B*, das die Hülle in ihre Form presst. Die Hülle muss stets prall stehen, weil sich sonst das Traggas darin hin und her schieben und sich an einem der Enden sammeln kann, wodurch das Luftschiff in üble Situationen gerät. Unter dem Ballon befindet sich eine Plattform *D* mit dem Kiel, hinten ist das Seitensteuer *J* daran befestigt; *E* ist ein festes und *F* ein drehbares Höhensteuer, *H* ist noch eine feste vertikale Flosse, und *G* ist der horizontale Schwanz, der der Wirkung des Ballon-Vorderteils beim Bocken entgegenwirken soll. Der grösste Durchmesser des Ballons von 10,3 m liegt auch weit nach vorn, so dass auch das lange Hinterteil des Ballon selbst in der oben angedeuteten Weise das Bocken und Abweichen des Ballons aus der Fahrtrichtung verhindert. Die Länge des Ballons misst 58 m,



Figur 25



Figur 26

der Daimler-Motor leistet 40 PS und die Geschwindigkeit erreichte 10 m/sek., was für das Jahr 1904 schon bedeutend war.

Eine ausgedehnte Schwanzkonstruktion, die den Ballon nach hinten verlängert, ohne ihn zu belasten, da der Schwanz mit Wasserstoffgasen gefüllt ist, zeigt Figur 23. Es ist der „Ville de Paris", Bauart Henry Hervé, von 1906. Wir sehen, dass man die gekünstelten Ballonformen wieder aufgegeben hatte, und den Ballon wieder als Umdrehungskörper ausführte. Der Schwanz drückt den Ballon in die Fahrtrichtung, wenn der vordere geschobene Ballonteil ihn davon abdrängen will. Offenbar ist diese Art des Kräfteausgleichs aber weniger zu empfehlen, als die des Luftschiffs Lebaudy-Juillot von 1904, denn die Beanspruchungen der Ballonhülle werden durch die künstliche Verlängerung viel grösser, als bei diesem. Der „Ville de Paris" ist 61,5 m lang, bei 10,3 m

grösstem Durchmesser. Das Schwanzstück, an dem sich die Rundflossen befinden, hat 4,5 m Durchmesser. Der starre Kiel ist 32 m lang. Der gesamte Balloninhalt beträgt 3196 cbm, wovon 500 cbm auf das Ballonet kommen. Das Luftschiff ist mit einem 70 PS Argus-Motor ausgerüstet. Das Luftschiff gehörte dem bekannten Mäcen Deutsch de la Meurthe, der sich durch Preisstiftungen um die Luftschiffahrt in Frankreich sehr verdient gemacht hat. Als die „La Patrie", ein Lebaudy-Luftschiff des

Figur 27

französischen Heeres, durch einen Wirbelsturm verloren gegangen war, verehrte Deutsch den „Ville de Paris" der französischen Nation.

Auch das deutsche Heer bedient sich des halbstarren Systems für einige seiner Luftschiffe. Figur 24 und 25 stellen das deutsche Militär-Luftschiff Bauart Basenach 1907 dar. Der Ballon A hat 40 m Länge bei 12 m Durchmesser; a ist der starre Kiel mit der Gondel, in dem sich der Motor befindet, der die beiden seitlichen Treibschrauben durch die Transmissionen g und b antreibt. B ist der Benzinbehälter, V der Ventilator, mit dem durch den

sichtbaren Luftschlauch Luft in das Ballonet gedrückt werden kann; v sind Abblaseventile. Die Seitensteuerung wird durch das Steuer S bewirkt. Der relativ kurze, gedrungene Ballon ist möglichst solide mit dem Kiel a verbunden, so dass das Fahrzeug an sich weniger zum Bocken neigt, als die langen Franzosen, trotzdem der Schwerpunkt des Fahrzeugs ungefähr in der Längsmitte liegt. An Stelle des Schwanzes besitzt der Basenach die Stabliisierungs-

Figur 28

flächen d. Bei der neuen Auflage dieses Luftschiffes hat man aber doch den Schwerpunkt mehr nach vorn gelegt, indem man den grössten Querschnitt des schlanken Ballons der Spitze nahe brachte, so dass der längere hintere Ballonteil als Schwanz den vorderen in die Fahrtrichtung drücken kann. Die deutschen Militärluftschiffe erzielten sehr gute Resultate, namentlich, was ununterbrochene Fahrtdauer anbelangt.

In Frankreich hat man, wenn die Angaben der Prospekte der Luftschiffabriken zutreffen, bereits eine grosse Sicherheit in der Herstellung solcher Luftschiffe des französischen Systems,

namentlich für kleine Leistungen, und Frankreich scheint auch einen Kreis sportsfreudiger wohlhabender Leute zu besitzen, die solche Luftschiffe kaufen, und sie benutzen. Das zeigt die nachstehende Zusammenstellung, die sich im Prospekt einer bekannten französischen Firma findet, wonach man sich ein passendes Luftschiff nur auszusuchen braucht, wenn man das nötige Geld besitzt:

Motorballons verschiedener Grössen und Leistungen nach dem Prospekt einer französischen Firma.

Fabrikations-Nr.	Rauminhalt	Geschwindigkeit per		Motorstärke	Anzahl		Ballondimensionen		Personen an Bord		Zweck des Luftschiffs
		Std.	Sek.		der Motore	der Treibschrauben	Länge	grösster Durchm.	Bedienung	Passagiere	
	cbm	Km	m	PS			m	m			
1	500	25	7.	20	1	1	30	6.25	1	0	Sport
2	1.000	35	10.	35	1	1	36	7.30	1	1	Sport
3	3.800	50	14.	140	2	2	60	10.60	4	4	Militäre
4	5.500	60	16.70	300	2	2	72	12.	4	6	Militäre
5 A	6.500	60	16.70	350	3	3	78	13.	5	20	Pers. Transp.
5 B	6.500	70	19.50	550	4	4	78	13.	7	0	Militäre
6 A	10.000	60	16.70	420	3	3	90	14.	7	33	Pers. Transp.
6 B	10.000	75	21.	800	5	5	90	14.	8	0	Militäre

In Figur 26 ist das Luftschiff Nr. 3 dieser Aufstellung abgebildet, das sich „Militärluftschiff für grosse Geschwindigkeit" nennt. Wir sehen, dass der Ballon einen Umdrehungskörper darstellt, bei dem die Schwerpunktsachse (Axe de charge) nach vorn gerückt wurde. Hinten bemerken wir eine ausgedehnte Schwanzkonstruktion, die die Wirkung dieser Massnahme unterstützen soll. Der Kiel ist 20 m lang und 1,50 m breit. Die Gleichgewichtsbilanz wird wie folgt aufgestellt. Das Luftschiff wiegt 2900 kg; dazu kommt: Benzin für 10 Stunden 360 kg, Bedienung, 4 Personen 300 kg, Ballast oder sonstige Belastung 550 kg, macht zusammen 4110 kg, zu deren Ausgleich im Höchstfalle 3800 cbm Wasserstoffgas dienen, die einen Auftrieb von dieser

Höhe bequem produzieren, auch wenn man noch einige hundert cbm für ein Ballonet abzieht.

Vielleicht sind die Geschwindigkeitsangaben zu optimistisch gefärbt, denn man hat aus der französischen Luftschiffpraxis noch nichts von Geschwindigkeiten über 12 m/sek gehört. Immerhin beweist das alles, dass man in Frankreich das Problem energisch in die Hand genommen hat. Auch der Bau der vielen kleinen

Figur 29

Sportballons ist ein erfreuliches Zeichen für die Popularität des Flugsports in Frankreich.

Neuerdings nimmt das französische Luftschiffsystem in Deutschland eine eigenartige Entwicklung zu Luftschiffen riesiger Grösse: die Siemens-Schuckert Werke führen ein solches Luftschiff aus, dessen Ballon 13000 cbm Traggas fassen kann, der also den des ersten Zeppelin an Grösse noch beträchtlich übertrifft. Der Ballon ist 125 m lang bei 13 m grösstem Durch-

messer. An der Unterseite des Ballons befinden sich zwei 70 m lange Stoffbahnen, die durch den starren Kiel mit einander verbunden sind. In den starren Kiel sind 3 Gondeln eingebaut, und die Behälter für die Betriebsmittel. Das Luftschiff soll durch vier Daimlermotoren von je 125 PS, im Ganzen also durch 600 PS im Höchstfalle in Bewegung gesetzt werden, zwei Motore befinden sich in der hinteren, und zwei in der vorderen Gondel, die mittlere Gondel ist für die Führer bestimmt. Die Ballonhülle besteht aus dreifachem Ballonstoff. Man darf auf die praktischen Resultate dieses Riesen gespannt sein, sie werden entscheiden, ob man so grosse Luftschiffe ohne starres Gerippe ausführen darf.

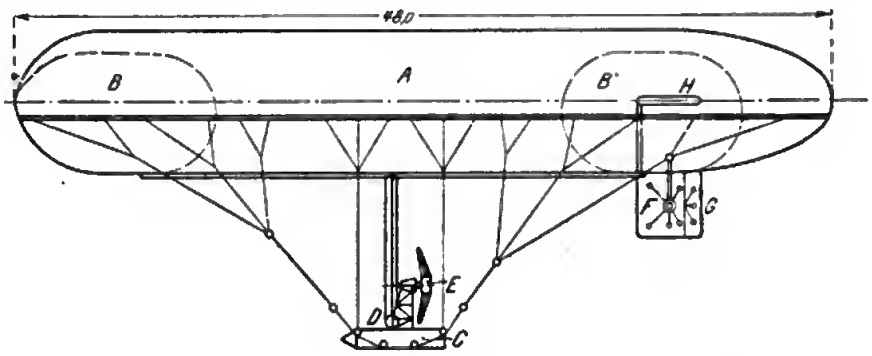
In andern Ländern, in denen man das französische System adoptiert hat, begnügt man sich mit geringeren Dimensionen, so etwa von der Grösse unseres deutschen Militärballons. Figur 29 stellt Kapitän Baldwins Luftschiff dar, das die amerikanische Armee übernommen hat, Figur 28 zeigt das englische Militär-Luftschiff, und Figur 27 lässt die etwas vom Üblichen abweichenden Formen des spanischen Militär-Luftschiffs „Torres Queredo" erkennen.[1])

Das Parseval-Motorballonsystem.

In Deutschland hat neben den andern Systemen das Motorballonsystem Parseval Bedeutung erlangt, das sich durch praktische Brauchbarkeit auszeichnet. Das vom Major v. Parseval angegebene, aus seinem Drachenballon entstandene Luftschiff dieser Bauart besitzt keinerlei starre Versteifungen, abgesehen von der Gondel, die mit der Treibschraube eine Einheit bildet. Das Luftschiff lässt sich also gut verpacken, und in diesem Zustande leicht transportieren. Es kommt hierdurch einem militärischen Bedürfnis entgegen, und das System ist deshalb und wegen seiner sonstigen Brauchbarkeit auch von der deutschen Armee für das Heer eingeführt worden.

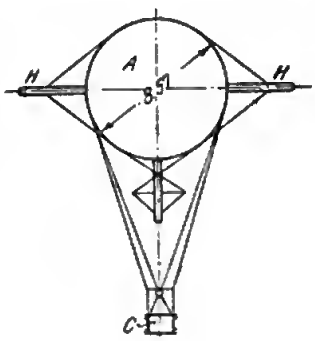
1) Die Figuren Nr. 28, 29, 30 sind aus den „Illustrierten Äronautischen Mitteilungen" entnommen.

Figur 31 und 30 zeigt die ältere Bauart des Parsevalballons, Modell 1906. Der Ballon A enthält die beiden Ballonets B und B', die vom Ventilator D durch die sichtbaren Schläuche mit Pressluft gefüllt werden können, und zwar nach Wahl, entweder nur das hintere, oder nur das vordere, oder beide zugleich. Hierdurch



Figur 30

wird das Traggas entweder nach vorn, oder nach hinten geschoben, oder gleichmässig im Ballon verteilt, und der Schwerpunkt des Auftriebs entsprechend verändert, so dass der Ballon eine nach vorn, oder nach hinten geneigte, oder eine horizontale Lage annimmt. Dies soll die Fahrtrichtung des Luftschiffs beeinflussen. Dem gleichen Zweck diente ein Laufgewicht von 40 kg. Der Ventilator D kann vom Motor aus bewegt werden, aber auch durch Handbetrieb funktionieren. Die Steuerfähigkeit wird weiter unterstützt vom Seitensteuer G, das an der festen Flosse F ansitzt, und den horizontalen Steuern H, die zum Teil durch Seilzug verstellbar waren. Die Steuer bestanden aus mehrfachem Ballonstoff, der mit Luft aufgeblasen wurde. Die Treibschraube E war an der Gondel anmontiert, ihre Flügel bestanden ebenfalls nur aus Ballonstoff, der, aussen mit Blei beschwert, bei der Rotation durch die Zentrifugalkraft ausgespannt wurde. Solche Schrauben hat man



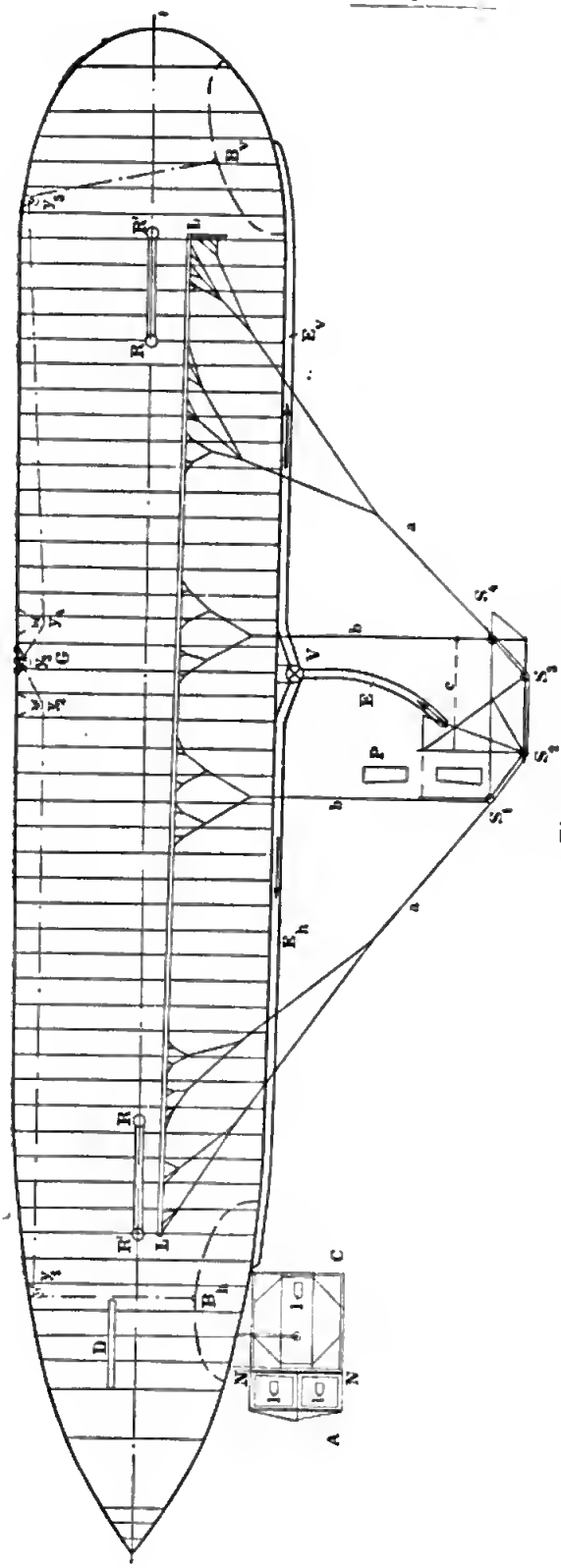
Figur 31

seitdem als Parsevalschrauben mehrfach mit gutem Erfolg verwendet. Die Gondel C hing ziemlich tief unter dem Ballon. Figur 32 zeigt diesen Parseval während eines Aufstiegs. So schiefe Lagen des Ballons fürchtete man in Frankreich, wegen des erheblichen Gasdrucks auf die Ballonspitze, und vermied deshalb, die Oberfläche des Ballonkörpers für dynamische Höhenänderungen auszunutzen. Der Parseval ist aber aus sehr solidem Stoff angefertigt, der 350 Gramm per qm wiegt. Der Ballon soll nur 1% Gas per Tag verlieren, der Parseval, und auch der in

Figur 32

Figur 24 und 25 dargestellte Basenach blieb mit einer Füllung 4 Wochen dienstbereit.

Die Gondel des Parseval war auf Rollen aufgehängt, so dass sie in der Takellage etwas nach vor- und rückwärts gleiten konnte. Denn wenn der Ballon anfuhr, setzte sich zuerst die Gondel in Bewegung, die nun den Ballon nachschleppen musste. Damit wurden aber die Gleichgewichtsverhältnisse andere und das Luftschiff bockte. Um dem zu begegnen, liess man die Gondel in den Rollen etwas vorgleiten, wenn sie anzog. Der Ballon war 48 m lang, bei 8,57 m grösstem Durchmesser; er soll mit einem 85 PS Daimler-

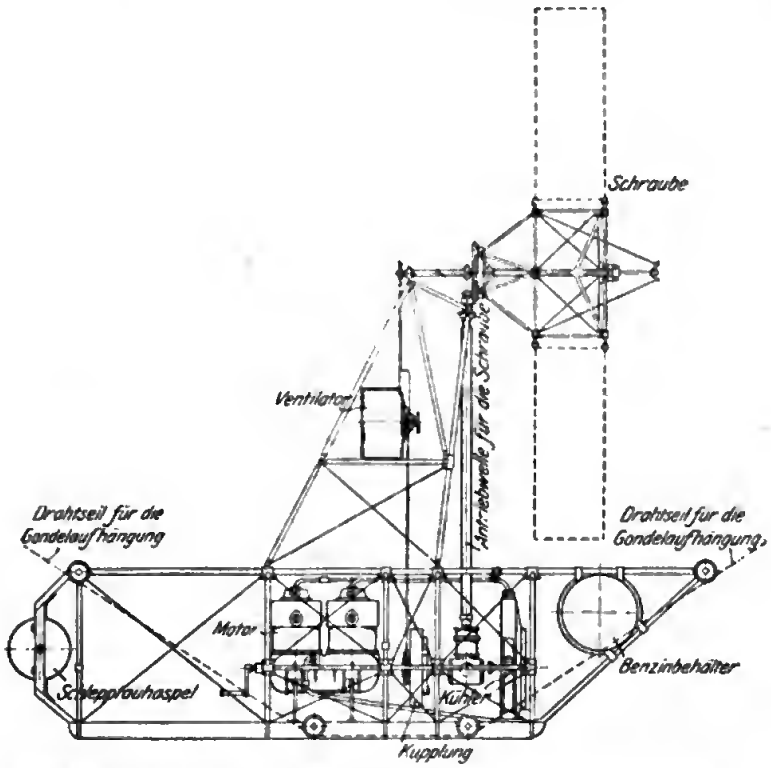


Figur 33

Motor eine Geschwindigkeit von 12 bis 13 m/sek erlangt haben, also mehr, als die französischen Luftschiffe.

Seitliche Abweichungen von der Fahrtrichtung scheinen also durch die grosse Flosse F in Verbindung mit dem sehr prallen Stand des Ballons (es wurde ein innerer Überdruck von ca. 16 mm Wassersäule angewendet) glücklich auf ein Minimum herabgedrückt worden zu sein, und dem Bokken wird wirksam durch die tiefe und lose Aufhängung der Gondel begegnet, die die Bockbewegungen des Fahrzeugs nicht ohne weiteres mit macht, und den bockenden Ballonteil durch stärkere Belastung oder Entlastung in die Fahrtrichtung zu dirigieren sucht.

Beim Neubau des Parseval Modell 1907/1908, der in Figur 33 zur Anschauung gebracht ist,*) verlegte man aber doch den Ballonschwerpunkt mehr nach vorn, in der Renard'schen Methode, indem man den Ballonquerschnitt von vorn nach hinten abnehmen liess. Dieses Luftschiff ist 58 m lang, sein Ballon hat einen grössten

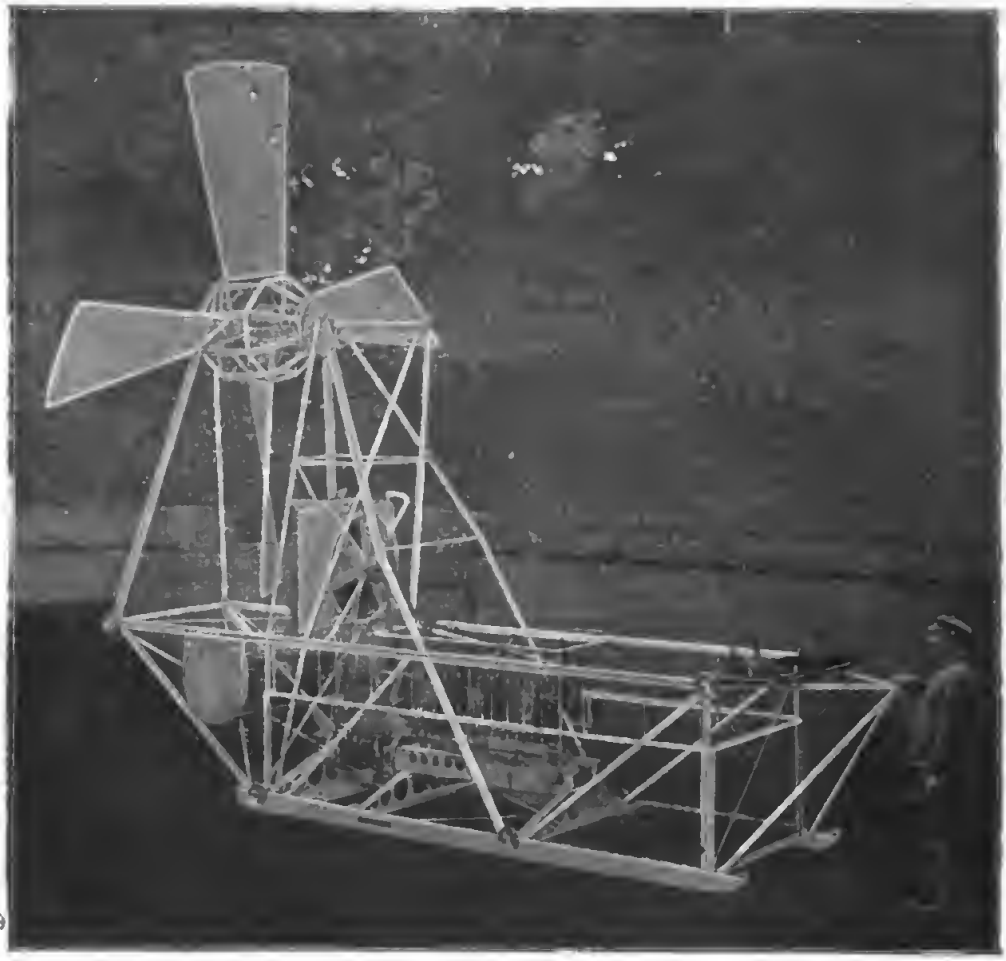


Figur 34 Figur 35

Durchmesser von 9,5 m, bei einem Rauminhalt von 3800 cbm. Es verjüngt sich bis zu $^2/_3$ seiner Länge auf 9 m Durchmesser, und läuft dann nach hinten spitz aus. Neuerdings ist es noch

*) Nach „das Parseval-Luftschiff" von Ingenieur W. Friedländer in der Technischen Rundschau Nr. 46 von 1908.

um 2 m verlängert worden, und die Bahnen des Stoffes sind nun auch nach der Längsachse gerichtet worden, während sie früher wie in der Figur, die Achse ringförmig umgaben. Im Übrigen besitzt das Luftschiff wieder 2 Ballonets, das vordere B_v, und das hintere B_h, die durch Seilzüge mit dem Abblaseventil G so ver-



Figur 36

bunden sind, dass sie es öffnen, und Traggas entweichen lassen, wenn sie ganz entleert sind, wenn also für die Traggashülle Platzgefahr besteht. Dieser Fall soll natürlich unter normalen Verhältnissen nicht eintreten. Gewöhnlich begibt sich das Luftschiff nicht so hoch, dass das Traggas die Ballonhülle ganz ausfüllt, so

dass die Ballonets vom Ventilator stets mehr oder weniger mit Pressluft angefüllt sind. Weitere Sicherungsvorrichtungen sind die Reissbahnen RR, die Vorkommnisse verhindern sollen, die zum Verlust der La Patrie führten. Die Höhensteuer D messen 16 qm, die vertikale Flosse C 18,5 qm.

Die Gondel, die in Figur 35, 36 und 34 besonders abgebildet ist, hängt 12,5 m unter der Ballonmitte, sie ist an einer 40 m langen Lasche LL am Ballon durch eine entsprechende Takelage befestigt. In der Gondel befindet sich der 100 PS Antriebs-Motor, der die Treibschraube von 3,75 m Durchmesser mit 250 bis 300 Touren per Minute in Bewegung setzt. Es ist wieder eine Parsevalschraube mit vier Flügeln aus Ballonstoff. (In Figur 36 sollen die steifen Flügel nur die Lage der Flügel beim Gange andeuten). Der Benzinbehälter kann 500 Liter Benzin aufnehmen. Die Gondel ist 6,8 m lang und 1,26 m breit; sie wiegt samt Antriebsmechanismus, aber ohne sonstige Ausrüstung 240 kg, und 1400 kg mit vollständiger Ausrüstung für eine 12 stündige Fahrt, mit Reserveteilen, Werkzeugen, aeronautischen Instrumenten und Betriebsstoffen. Die Ballonhülle wiegt 750 kg, die Takelung 100 kg, ein Schleppseil, das zur Erleichterung der Landung mitgeführt wird, weitere 100 kg so dass das Luftschiff insgesamt 2350 kg schwer ist. Als Brutto-Auftrieb des Traggases nimmt man 3100 kg an, so dass 750 kg für Bedienungsmannschaften und Ballast etc. verbleiben. Es sind schon öfter 6 Personen befördert worden. Das Luftschiff hat eine Dauerfahrt von 11,5 Stunden hinter sich, und eine Höhenfahrt auf 1500 m. Es lässt sich, demontiert, auf zwei gewöhnlichen, mit Pferden bespannten Wagen transportieren, wie durch eine Probe bewiesen wurde. Die Eigengeschwindigkeit dieses Parseval soll bis 15 m/sek oder 54 Km/Std betragen haben.

II. Die statistischen Verhältnisse der Luftschiffe.

Der Auftrieb verschiedener Gasarten.

Ein Kilogramm Luft nimmt bekanntlich bei einem Barometerstand von 760 mm Quecksilber und einer Temperatur von o Grad Celsius einen Raum von 0,777 Kubikmetern ein. Man nennt diesen Rauminhalt das „spezifische Volumen der Luft bei 760 mm Quecksilber und 0° C." Bei irgend einer beliebigen andern Temperatur t und einem andern Luftdruck b in Millimetern Quecksilber gemessen nimmt 1 kg Luft den Raum

$$V_s = \frac{0.777\ (1+0.00366\,t).\ 760}{b}\ \text{cbm}$$

ein. Ein Kubikmeter Luft wiegt demnach

$$G_l = \frac{1}{V_s} = \frac{b}{0{,}777\ (1+0{,}00366\,t).\ 760}\ \text{kg}$$

Irgend eine andre Gasart vom spezifischen Gewicht S besitzt bei T Grad und b mm Druck das spezifische Volumen

$$v_s = \frac{0.777\ (1+0.00366\,T)\ 760}{b \cdot S} = \frac{V_s}{S}\ \text{cbm}$$

und wiegt per Kubikmeter

$$G_g = S \cdot G_l = \frac{S}{V_s} = \frac{b \cdot S}{0{,}777\ (1+0,\ 00366\,T)\ 760}\ \text{kg}$$

wenn T die Temperatur des Gases in Graden C ist.

Schwimmt eine Gasmenge von 1 cbm mit der Temperatur T° C und dem Druck b mm Quecksilber in Luft von der Temperatur t° C und dem Druck b_1 mm Quecksilber, so wirkt auf die Gasmenge ein Auftrieb von I $(G_l - G_g)$ Kilogramm, oder

$$I\ (G_l - G_g) = \frac{1}{0{,}777 \cdot 760}\left(\frac{b_1}{1+0{,}00366\,t} - \frac{b\ S}{1+0{,}00366\,T}\right)\ \text{kg}.$$

Nun ist in der Luftschiffpraxis immer annähernd $b = b_1$, auch bei den Motor-Luftschiffen, denn der Überdruck in den Hüllen beträgt ja nur bis 16 mm Wassersäule oder ca. 1,2 mm Quecksilber, gleich 0,0016 Atmosphären. Man kann also stets schreiben, der Auftrieb.

$$I\,(G_1 - G_g) = I\,\frac{b}{0{,}777\ 760}\left(\frac{1}{1+0{,}00366\ t} - \frac{S}{1+0{,}00366\ T}\right)\ \text{kg}.$$

Ist $T = t = 0$ und $b = 760$ mm, und nennt man den Auftrieb $G_1 - G_g$ eines cbm Traggases in diesem Falle A_0 und $I\,A_0 = A_1$, so wird

$$5)\qquad I\,A_0 = I \cdot \frac{1}{0{,}777}(1-S) = A_1\ \text{kg}$$

und allgemein wird

$$6)\quad A_1 = I\,A_0\,\frac{b}{760}\left(\frac{1}{(1+0{,}00366\ t)\ (1-S)} - \frac{S}{1+0{,}00366\ T)\ (1-S)}\right)$$

Für $T = t$, was jedoch nur kurz nach der Ballonfüllung, sonst aber gewöhnlich nicht der Fall ist, würde

$$7)\qquad A_1 = I\,A_0\,\frac{b}{760} \cdot \frac{1}{1+0{,}00366\ t}\ \text{kg}.$$

Aus Gleichung 5, 6 und 7 geht hervor, dass der Auftrieb eines Luftschiffs mit unten offenem Gasbehälter von unveränderlichem Rauminhalt mit dem Luftdruck, also auch der erreichten Höhe und mit der äusseren Temperatur abnimmt, mit der inneren Temperatur dagegen zunimmt.

Besitzt dagegen das Luftschiff einen Gasbehälter mit Ballonet, oder, wie die meteorologischen Registrierballons, einen Gasbehälter aus einer nachgiebigen Gummihaut, oder mit anderen Worten, enthält das Luftschiff immer dieselbe Menge Traggas und lässt sich der Rauminhalt des Traggasbehälters dem jeweiligen, vom Luftdruck und der Temperatur abhängigen Volumen des Traggases anpassen, so bleibt der Auftrieb immer derselbe, wie hoch auch das Luftschiff steigt, er ändert sich nur noch mit der Temperatur. Denn es ist der jeweilige Rauminhalt

$$8)\qquad I = I_0\ (1 + 0{,}00366\ T\,\frac{760}{b}\ \text{cbm},$$

womit Gleichung (6) übergeht in

$$9)\qquad A_1 = I_0 A_0\,\frac{(1+0{,}00366\ T) - (1+0{,}00366\ t)\ S}{(1+0{,}00366\ t)\ (1-S)}\ \text{kg}$$

Für $T = t$ wird in (9) $A_1 = I_0 A_0$ gleich dem Auftrieb des Traggases bei der Temperatur 0 und dem Druck von 760 mm Quecksilber multipliziert mit dem Volumen dieses Traggases in diesem Zustand; der Auftrieb wäre dann ganz unveränderlich. Ist T

grösser als t, so ist der Auftrieb etwas grösser als $I_0 A_0$, ist T kleiner als t, so ist er etwas kleiner als $I_0 A_0$. Diese Verhältnisse berücksichtigt man bei der Berechnung eines Luftschiffs am besten durch bestimmte Grenzannahmen für t und T.

In Tabelle V sind zunächst die Auftriebe *A* verschiedener Gasarten unter der Voraussetzung zusammengestellt, dass $t = 0$, $T = 0$ (ausgenommen bei erhitzter Luft und Wasserdampf) und $b = 760$ mm ist.

Tabelle V.

Der Auftrieb verschiedener Gasarten.

Der Auftrieb in Kilogramm, den Gase verschiedener Art und verschiedenen Zustandes für jeden Kubikmeter Rauminhalt eines Gasballons äussern, wenn sich der Ballon in Luft von 0 Grad C. und Atmosphärendruck in Meereshöhe = 760 mm Quecksilber befindet.

Gasart	Gasdruck Atm.	Temperatur Grad C.	Spez. Gewicht	Auftrieb in kg A
Luft	1	0	1,000	0,000
„	1	100	0,731	0,341
„	1	150	0,644	0,455
„	1	200	0,575	0,545
Wasserdampf (gesättigter Dampf kochenden Wassers)	1	100	0,425	0,702
Aethylen	1	0	0,974	0,035
Ammoniak	1	0	0,592	0,522
Azetylen	1	0	0,910	0,115
Kohlenoxyd	1	0	0,967	0,043
Leuchtgas	1	0	0,34—0,45	0,7—0,8
Sumpfgas	1	0	0,559	0,566
Stickstoff	1	0	0,971	0,037
Wassergas	1	0	0,540	0,590
Wasserstoff	1	0	0,069	1,196

Ballon-Standhöhe und Barometerstand.

Nach Tabelle V lassen sich nun die Auftriebe von Luftschiffen vermittelst der eben entwickelten Gleichungen leicht er-

findet man, dass die Atmosphäre in einer gewissen Höhe ein Ende findet. Die Höhe liegt so bei 50 bis 55 km.

Die Entstehungsweise der Gleichung 10 können wir wohl hier übergehen.

Berechnung der Standhöhe (resp. Steighöhe) von Luftballons ohne Ballonet.

Hat die Gashülle eines Luftballons einen Rauminhalt von 1 cbm, und beträgt das Gewicht des Luftballons ohne Traggas und ohne Ballast G, das Gewicht des Ballastes g kg, und ist der Luftballon bis in eine Höhe H aufgestiegen, in der der Auftrieb seines Traggases gleich ist dem Gewicht $G + g$, in der also Gleichgewicht herrscht, und in der er schwebt, ohne zu fallen und ohne weiter zu steigen, so gilt für diese Lage des Luftballons die Beziehung aus Gleichung (6)

$$11) \qquad IA = G + g = IA_0 \frac{b}{760} F(T, t, S),$$

worin A_0 der Auftrieb eines cbm des Traggases im Zustand $b = 760, T = t = O$ ist, der aus der Tabelle V entnommen werden kann; der Ausdruck F (T, t, S) steht anstatt der Klammergrösse in (6) und bedeutet in der in der höheren Algebra üblichen Weise weiter nichts, als dass der Inhalt der Klammer eine Funktion (F) von T und von t und S ist. Die Schreibweise dient nur zur Abkürzung. In der erreichten Höhe herrscht der Barometerstand b. Dieser ist aber nach Gleichung (10) für jede Höhe H leicht zu ermitteln. Und wenn wir die Gleichung 10 in die Gleichung (6) einführen, können wir einen Ausdruck erhalten, der die erreichbare Steighöhe H sofort erkennen lässt, wenn $G + g$ bekannt ist. Obwohl die Entwicklung dieser Gleichung einen kleinen Sprung in das Reich der Exponentialfunktionen notwendig macht, wollen wir diese Entwicklung doch hier nicht übergehen und sie für ähnliche Fälle vormachen: Gleichung (10) lautet

$$\log. br. b = \frac{55\,000 - H}{19\,100}$$

geht man von den Logarithmen zu den Zahlen über, so erhält man

12) $$b = 10^{\frac{55\,000 - H}{19\,000}},$$

was ja aus dem Wesen der Logarithmen ohne weiteres folgt. Aus Gleichung 6 erhalten wir aber

13) $$b = \frac{760\,(G+g)}{I A_0\, F\,(T, t, S)} = \frac{F\,(G, g, I, A)}{F\,(T, t, S)}$$

und also weiter

$$10^{\frac{55\,000 - H}{19\,000}} = \frac{F\,(G, g, I, A)}{F\,(T, t, S)}$$

Nimmt man beiderseitig wieder die Logarithmen, so kommt

$$\frac{55\,000 - H}{19\,100} = \text{log. br.}\left(\frac{F\,(G; g, I, A)}{F\,(T, t, S)}\right)$$

oder

$$H = 55\,000 - 19\,100 \log.\left(\frac{F\,(G, g, I, A)}{F\,(T, t, S)}\right)$$

und, wenn man den Wert der Funktionen hinschreibt

14) $$H_T = 55000 - 19100 \log.\left(\frac{760\,(G+g)}{I A_0} \frac{1 - S}{\frac{1}{1 + 0{,}00366\, t_1} - \frac{S}{1 + 0{,}00366\, T_1}}\right)$$

worin t_1 und T_1 die Temperaturen in der Höhe H bedeuten sollen, da t und T die Temperaturen am Erdboden sind.

Mit Gleichung 14 kann man ohne weiteres feststellen, wie hoch ein Luftballon aufsteigt, wenn man für T_1 und t_1 die entsprechenden Werte einsetzt.

Der Wert von T_1, der Temperatur des Balloninhalts, bleibt während des Aufstiegs nicht etwa konstant, so schnell auch der Aufstieg erfolgt, er nimmt vielmehr viel schneller ab, als der von t_1, der äusseren Temperatur. Das hat seinen Grund darin, dass der Traggasinhalt des Ballons sich entsprechend dem mit der zunehmenden Höhe abnehmenden äusseren Luftdruck ausdehnt, womit im Sinne der mechanischen Wärmetheorie eine Arbeitsleistung verbunden ist. Auf Näheres hierüber wollen wir uns an dieser Stelle nicht einlassen, es liegt zu weit abseits unseres Weges, jedenfalls gibt uns die mechanische Wärmetheorie die Beziehung zur Ermittlung der jeweiligen inneren Ballontemperatur:

15) $$T_1 = (273 + T)\left(\frac{b}{760}\right)^x - 273 \text{ Grad C},$$

worin T_1 die innere Ballontemperatur in der Höhe ist, in der der Barometerstand b mm Quecksilber herrscht; der Exponent x hat den Wert 0,286, wenn der Aufstieg schnell erfolgt; steigt der Ballon sehr langsam in die Höhe, so gleicht sich der Temperaturunterschied zwischen dem Innern und dem Äusseren des Ballons mehr und mehr aus, so dass für einen sehr langsam erfolgenden Aufstieg $T_1 = t_1$ wird, aber auch nur dann, wenn der Ballon nicht von der Sonne bestrahlt wird (auf diesen Einfluss kommen wir auf Seite 68 zurück, wenn wir die Insolation besprechen), sondern bei bewölktem Himmel aufsteigt.

Die Temperatur der äusseren Luft beträgt am Erdboden t Grad, in der Höhe $t_1{}^0$. Die äussere Temperatur nimmt unter normalen Verhältnissen (nur solche kann man natürlich in Gleichungen festlegen) mit der Steighöhe fortdauernd ab. Nach Versuchen von Gay-Lussac beträgt die Abnahme für je 173 m Höhe einen Grad Celsius. Es ist also unter diesen Umständen

16) $$t_1 = t - \frac{H-h}{173} \text{ Grad C.,}$$

wenn t die Temperatur am Erdboden in der Höhe h über dem Meeresspiegel bedeutet.

Setzt man die Beziehungen (15) und (16) in die Gleichung 14 ein, so hat man sowohl rechts als links in dem Ausdruck die Höhe H resp. den Barometerstand b enthalten, also Werte, die man durch die Gleichung erst suchen will. Man könnte nun zwar in Gleichung 14 die H rechts durch einige Operationen auf die linke Seite schaffen, wenn der Ausdruck dadurch bequemer würde. Aber das Gegenteil ist der Fall, die Gleichung würde viel unhandlicher werden, wenn wir die Operationen ausführen würden. Es ist einfacher, wenn wir zur Ermittlung der Steighöhen zunächst einmal $T_1 = t_1 = 0$ setzen, wodurch der Ausdruck 14 übergeht in

17) $$H_0 = 55000 - 19000 \log. \left(\frac{760\ (G+g)}{1\ A_0}\right)$$

und mit dem aus 17 eruiertem Wert von H aus den Beziehungen 15 und 16 die Temperaturen T_1 und t_1 in erster Annäherung er-

mitteln und nun eventuell aus Gleichung 14 mit diesen Temperaturen ein zutreffenderes H festzustellen. Mit dem neuen H sind dann die Temperaturen aus 16 und 15 zu verbessern und durch erneute Rechnung H aus 14 wiederum zu bestimmen, und so fort, bis man nur noch verschwindend kleine Differenzen ermittelt. Für die Praxis hat diese Rechnerei natürlich wenig Wert, vielleicht einmal für Sportszwecke, wenn es gilt, sportliche Bedingungen genauer festzulegen; wir wollen aber an einigen Beispielen den Gang dieser Rechnungen zeigen.

Steigt der Ballon bei bewölktem Himmel sehr langsam auf, so dass der Balloninhalt sich jeweilig auf die äussere Temperatur t_1 erwärmen kann, so wird $T_1 = t_1$, und aus Gleichung 14

18) $$H_t = 55000 - 19100 \log. \left(\frac{760\,(G+g)}{I\,A_0}\,(1 + 0{,}00366\,t_1)\right)$$

worin man H ebenfalls aus (17) in erster Annäherung festlegt, um dann durch Einsetzung des betreffenden Wertes von t_1 durch eine Rechnung oder durch wiederholte Rechnungen den wirklichen Wert von H auszumitteln. Erreicht der Ballon in schnellem Aufstieg zuerst nur die Höhe H_T, so steigt er allmählich doch auf die Höhe H_t, in dem die Masse, als die innere Temperatur auf die äussere Temperatur t_1 steigt.

Die Insolation.

Ehe wir einige Beispiele berechnen, müssen wir noch auf die Wirkung der Sonnenstrahlen auf den Zustand des Traggases näher eingehen.

Das Traggas erwärmt sich oft bedeutend über die Temperatur der Umgebung, wenn es von der Sonne bestrahlt wird. Die Temperaturerhöhung wird um so grösser, je höher das Luftschiff steht. Das hat seinen Grund in der Insolation:

Die Sonne sendet uns in jeder Sekunde auf jeden Quadratmeter senkrecht zu den Sonnenstrahlen an den Grenzen der Atmosphäre, also in einer Entfernung von etwa 55 km von der Erdoberfläche, eine Wärmemenge von 300 bis 400 Calorien zu, wovon auf der Erdoberfläche in Meereshöhe in unsern Breiten

nach Versuchen von Pouillet, Herschel und Ericsson nur etwa 0,15 Cal/sek ankommen, der Rest, also fast die gesamte Wärmemenge, wird von der Atmosphäre absorbiert. Kommt nun ein Luftschiff in höhere Regionen, in denen mehr der die Wärme absorbierenden Atmosphäre unter ihm liegt, so kann es bedeutend mehr von der Sonnenwärme aufnehmen, als in tieferen Luftschichten. Dadurch kann sich das Traggas bedeutend erwärmen. Man hat 50° C und mehr als Traggastemperatur von Luftschiffen beobachtet. Diese Temperaturerhöhung wäre an sich ja ganz erwünscht, denn nach Gleichung 6 wächst ja der verfügbare Auftrieb mit der inneren Temperatur. Wenn aber die Bestrahlung aufhört, wenn also z. B. das Luftschiff in den Schatten einer Wolke gerät, so kühlt sich das Traggas sehr schnell wieder auf die Temperatur der Umgebung ab, was zu sehr unangenehmen Auftriebsverhältnissen führen kann. Wir kommen darauf im Abschnitt „Das Fallen der Luftballons" noch näher zurück (dort werden wir auch noch eine andre Quelle für bedeutende innere Temperaturerhöhungen kennen lernen). In den nachfolgenden Beispielen wollen wir die Möglichkeit einer bedeutenden Insolation dadurch berücksichtigen, dass wir einen Fall berücksichtigen, in dem innere Insolationstemperatur $T_i = 50^0$ C beträgt.

Beispiele von Steighöhenbestimmungen.

Der Luftballon habe 350 cbm Rauminhalt ($I = 350$), sein Gewicht samt Ausrüstung betrage 150 kg, und der Luftschiffer wiege 75 kg ($G = 225$ kg), an der Erdoberfläche herrsche eine Temperatur von 15° C ($T = t = 15$); wir wollen zuerst bestimmen, welche Tragkraft der Ballon am Erdboden entwickeln kann, resp., mit wie viel Ballast vom Gewichte g kg der Ballon belastet werden muss, damit er am Erdboden grade noch schwebt, aber nicht mehr aufsteigen kann.

Da am Erdboden die Temperatur $T = t$ ist, können wir Gleichung 7 für diese Bestimmung benutzen, nach der

$I A = G + g = I A_0 \frac{b}{760} \frac{1}{1 + 0{,}00366\, t}$ kg ist. Füllen wir den Ballon

mit Wasserstoffgas, so dürfen wir nach Tabelle V für A_0 den Wert 1,196 einsetzen, falls das Gas rein ist; für Leuchtgas könnten wir $A_0 = 0{,}7$ annehmen. Wir wollen ferner annehmen, um alle Eventualitäten zu berücksichtigen, dass der Barometerstand zwar normal sei, dass sich der Ort, an dem der Ballon sich befindet und gefüllt worden ist, aber 100 m über dem Meeresspiegel erhebt. Nach Tabelle VI oder Gleichung 10 ist dann $b = 751$ mm. Setzen wir diese Zahlen in die Gleichung 7 ein, so finden wir für Wasserstofffüllung: $G+g = 390$ kg, oder $g = 165$ kg; (zur Sicherheit nimmt man gewöhnlich als Auftrieb des Wasserstoffgases nur 1 kg/cbm an, resp., man rechnet nur auf einen so hohen Auftrieb; in diesem Falle wäre $G+g = 330$ kg, und $g = 105$ kg), für Leuchtgas finden wir; $G+g = 230$ kg, oder $g = 5$ kg. Wir sehen, dass unser Luftballon für Leuchtgasfüllung zu klein ist, dass er aber für Wasserstoffgasfüllung brauchbar erscheint.

Wir untersuchen nun das weitere Verhalten des Ballons mit Wasserstoffgasfüllung unter verschiedenen Umständen.

Wir dürfen, wie wir eben feststellten, bis 165 kg in Form von Ballast mitnehmen. Mit 165 kg Ballast steigt der Ballon nicht mehr auf, er schwebt grade noch, aber mit weniger Belastung steigt er in eine Höhe H, die wir in erster Annäherung aus Gleichung 17 finden können. Wir wollen nun untersuchen, wie hoch sich der Ballon erhebt, wenn wir 25, 60, 95, 130 und wenn wir 155 kg Ballast einnehmen, und wie sich der Ballon dann weiter verhält.

Die Steighöhe H_0 als erste Annäherung finden wir aus Gleichung 17 und zwar für

$g = 25$, $H_0 = 55000 - 19100 \log. 453 = 4300$ Meter über dem M. Spiegel
60 $55000 - 19100 \log. 517 = 3200$ „ „ „ „ „
95 $55000 - 19100 \log. 581 = 2200$ „ „ „ „ „
130 $55000 - 19100 \log. 644 = 1300$ „ „ „ „ „
155 $55000 - 19100 \log. 691 = 800$ „ „ „ „ „

Die Logarithmen sind aus dem Anhang dieses Buches zu entnehmen.

Aus diesem vorläufigen H_0 kann man nun eine exaktere Bestimmung der Steighöhe leicht ableiten. Wir wollen dabei drei Sonderfälle unterscheiden, 1) die Standhöhe des Ballons nach dem ersten schnellen Anlauf, während die innere Temperatur T_1 durch die Vorgänge, deren Ausdruck Gleichung 15 ist, noch sehr tief ist; 2) die Standhöhe, wenn sich der Traggasinhalt des Ballons auf die Temperatur der Umgebung, also auf t_1 erwärmt hat; und 3), die Standhöhe, wenn durch die Insolation die Temperatur des Balloninnern auf 50° C gestiegen ist.

1) Die Standhöhe des Ballons nach dem ersten Anlauf:

Die eben festgestellten Standhöhen H_0 erreicht der Ballon wenigstens annähernd. Wir können deshalb auch daraus annähernd die Temperaturverhältnisse in und um den Ballon ermitteln, und hiermit dann eine exaktere Standhöhe feststellen.

Bei einem schnellen Anlauf kühlt sich das Traggas auf einen Betrag ab, dessen Ausdruck Gleichung 15 ist; der Wert von b in dieser Gleichung ist aus Gleichung 10 zu berechnen, oder aus Tabelle VI zu entnehmen; die äussere Temperatur t_1 ergibt sich aus Gleichung 16. Man findet nun für

g	H_0	b	T_1	t_1				H_T		
25	4300	454	—24	—10	55000	—19100	log.	440	= 4500	Meter
60	3200	518	—14	— 4	„	„	„	511	= 3270	„
95	2200	591	— 5	3	„	„	„	589	= 2090	„
130	1300	650	0	8	„	„	„	665	= 1080	„
155	800	690	8	11	„	„	„	719	= 440	„

Wir sehen, dass die Unterschiede nur gering sind, teilweise lassen sie sich mit einem Rechenschieber von 25 cm Länge, mit dem diese Rechnungen ausgeführt sind, garnicht mehr sicher feststellen. Mit feineren Rechenmitteln könnten wir nun T_1 und t_1 aus den eben gefundenen Werten für H_T aufs neue bestimmen, und daraus noch exaktere Standhöhen H_T ermitteln. Für die Luftschiffpraxis hätte das aber wohl nur für den letzten Wert einen Sinn, dem ein Ballastgewicht von 155 kg zu Grunde liegt, für die andern Bestimmungen aber wohl keinen Wert, vielleicht gelegentlich aber

für meteorologische Zwecke, wenn man aus dem Stande eines Ballons (dessen Gewicht und dessen sonstige Steigungsverhältnisse dann genau bekannt sein müssen) auf die Temperaturen in und um ihn schliessen will, oder umgekehrt. Aber auch dann kommt wohl mehr der zweite Standhöhenfall in Frage, auf den wir gleich näher eingehen, um den Effekt dieser Rechnungen zu zeigen.

Verbessern wir wenigstens den eben gefundenen Wert für H_T bei $g = 155$, so kommt

g	H_T	b	T_1	t_1		H_T verbessert
155	440	720	12	13	55000—19100	log. 725 = 378 Meter ü. M.

Wir konstatieren noch einen Unterschied.

(Mit Hilfe der Logarithmentafel im Anhang würde man noch weitere Differenzen feststellen können, die aber praktisch wertlos sind. Der Rechner muss bei seinen Rechnungen überhaupt stets darauf achten, dass er eine Rechenmethode wählt, die nicht genauer ist, als die Werte, die ihm für die Rechnung zur Verfügung stehen, weil sonst die Umständlichkeit einer feineren Methode gar keinen praktischen Sinn hat. Wenn man z. B. den Auftrieb eines Gases nicht auf mehrere Dezimalen sicher kennt, vom Luftschiff-, Luftschiffer- und Ballast-Gewicht nicht mal die letzte ganze Zahl als sicher garantieren kann, und auch über den Barometerstand und die Temperaturen nur durch gewöhnliche Instrumente ohne Korrekturen informiert ist, so hat eine Rechnung mit 5 stelligen Logarithmen gar keinen Zweck, hierfür genügt der Rechenschieber vollkommen).

2) Die Standhöhe, wenn sich das Traggas auf die Temperatur der Umgebung erwärmt hat.

Die Standhöhe H_T erreicht der Ballon sehr schnell, mit der Erwärmung des Traggases von T_1 auf die höhere Temperatur t_1 rückt der Ballon dann allmählich in die höhere Standhöhe H_t auf, die sich aus H_0 aus Gleichung 18 unter Einsetzung der aus Gleichung 10 gewonnen Werte von $T_1 = t_1$ wie folgt berechnet:

g	H_0	$T_1=t_1$	H_t
25	4300	—10	55000—19100 log. 437 = 4570 Meter
60	3200	— 4	55000—19100 log. 509 = 3300 „
95	2100	3	55000—19100 log. 587 = 2112 „
130	1300	8	55000—19100 log. 664 = 1100 „
155	800	13	55000—19100 log. 724 = 380 „

Für den kleinen Ballon unseres Beispiels ist die nachträgliche Erhebung also nicht sehr bedeutend, aber immerhin feststellbar. Bei grossen Ballons ist das Nachsteigen natürlich erheblicher.

3) Die Standhöhe, wenn sich das Traggas durch Insolation auf 50° C. erwärmt hat.

Wird der hoch stehende Ballon nun intensiv von der Sonne bestrahlt, so kann sich das Traggas durch die in der Höhe wirksamere Insolation auf hohe Temperaturen erwärmen. Die am höchsten stehenden Ballons werden am meisten dadurch beeinflusst, die niedrig stehenden weniger. Wir wollen aber annehmen, um das Mass der Wirkung beispielsweise erkennbar zu machen, das Traggas erwärme sich in allen Höhen auf 50° C. Dadurch steigt der Ballon in grössere Höhen, die wir aus Gleichung 14 feststellen können. Als erste Annäherung ergibt sich:

g	H_t	t_1	T_i	H_i
25	4570	—10	50	55000—19100 log. 430 = 4800 Mtr.
60	3300	— 4	50	55000—19100 log. 501 = 3500 „
95	2112	3	50	55000—19000 log. 581 = 2200 „
130	1100	8	50	55000—19000 log. 656 = 1200 „
155	380	13	50	55000—19000 log. 718 = 450 „

Man kann also das Aufrücken der Ballons deutlich konstatieren. Eine Wiederholung der Rechnung mit verbesserten Werten für t_1 würde noch exaktere Zahlen liefern, die aber für uns hier zwecklos sind und prinzipiell nichts Neues bringen.

Diese Rechnungen zeigen, dass man das Verhalten eines Ballons in der Luft wohl zahlenmässig festlegen kann. Der prak-

tische Wert solcher Rechnungen liegt nun weniger in der Möglichkeit der Berechnung der jeweiligen Steighöhen, als in der Möglichkeit der zahlenmässigen Feststellung, warum der Ballon steigt oder fällt, resp. welche Ursachen auf den Ballon einwirken oder eingewirkt haben müssen, wenn er seine Standhöhe verändert. Noch deutlicher wird das im nächsten Abschnitt werden.

Beeinflussung der Standhöhen durch Änderungen des Zustandes der Atmosphäre.

Wir haben eben gesehen, wie ein Luftballon durch Einflüsse, deren Grund nicht immer direkt wahrnehmbar ist, seine Standhöhe vergrössern kann, scheinbar von selbst, ohne Absicht des Luftschiffers, und haben als Grund „Änderungen der Traggastemperatur" gefunden. Solche Vergrösserungen der Steighöhen sind nun dem Luftschiffer zwar nicht direkt gefährlich, sie haben aber immer das Gegenteil, ein Fallen des Luftballons im Gefolge, das nur dann pariert werden kann, wenn noch genügend Ballast an Bord ist, durch dessen Auswerfen passives Traggas aktiv gemacht werden kann. Wir wollen auch diese wichtigen Verhältnisse jetzt untersuchen, um daraus Verhaltungsmassregeln für die Ballonschiffart abzuleiten.

So lange der Zustand der Atmosphäre sich nicht ändert, wird sich auch die Standhöhe des Ballons nicht ändern. Von Änderungen durch Gasverluste durch die Ballonhülle hindurch müssen wir hier absehen. Sobald aber die mittlere Temperatur der Atmosphäre, oder der mittlere Barometerstand sich ändert, ändert sich auch die Standhöhe des Luftballons, auch das Aufhören der Insolationswirkung beeinflusst natürlich die Standhöhe. Wir wollen nun das Verhalten des Ballons untersuchen 1. bei allgemeiner Erniedrigung, 2. bei allgemeiner Erhöhung der Temperatur, 3. beim Aufhören der Insolation und 4. bei Änderungen des mittleren Barometerstandes.

1. Der Einfluss allgemeiner Erniedrigung der Temperatur.

Am Aufstiegsort, der nach unserer Annahme 100 m ü. M. lag, herrschte zur Zeit des Aufstiegs eine Lufttemperatur von 15° C., am Standorte des Ballons betrug die Temperatur der Luft deshalb t_1° C. Sinkt nun die Temperatur am Aufstiegsorte plötzlich auf 5° C. (ähnliche Temperaturstürze kommen ja wirklich vor), so sinkt nach Gleichung 16 auch die Temperatur in der Höhe um 10° C., und der Ballon setzt sich in vertikaler Richtung in Bewegung.

Zuerst wird der Ballon steigen, denn die Luft, in der er schwimmt, wird durch die Abkühlung dichter, das Traggas kühlt sich hierbei durch wärmemechanische Einflüsse, deren Ausdruck Gleichung 15 ist, entsprechend ab. Allmählich kühlt sich aber dann das Traggas auch auf die äussere Temperatur ab. Das Volumen des Traggases wird durch die Abkühlungen entsprechend kleiner, wenn der Ballon nicht gleichzeitig in dünnere Schichten der Atmosphäre steigt und füllt die Hülle nicht mehr ganz aus. Hierdurch wird nun ein neuer Zustand geschaffen, dem sich die Standhöhe anpasst. Würde sich die Abkühlung der äusseren Atmosphäre augenblicklich dem Traggas mitteilen, so würde folgendes eintreten:

Das Volumen I des Ballons, das zugleich das Volumen des Traggases bei der Temperatur t_1 in der Höhe H_t ist, ist nach Gleichung 8 durch die Beziehung ausdrückbar

$$I = I_0 (1 + 0{,}00366\, t_1) \frac{760}{b} \text{ cbm},$$

worin I_0 das Volumen des Traggases bei 0° C. und einem Barometerstand von 760 mm Quecksilber ist. Wird hierin t_1 um 10° kleiner, so nimmt das Traggas nur noch das Volumen

$$I_a = I_0 (1 + 0{,}00366\, [t_1 - 10]) \frac{760}{b_a} \text{ cbm}$$

ein. Nun ist die Standhöhe des Ballons nach Gleichung 17, wenn innerhalb und ausserhalb der Ballonhülle gleichmässig die Tempe-

ratur $(t_1 - 10)$ Grad beträgt, und wenn man beachtet, dass das Volumen des Traggases I_a geworden ist

$$H_{t-10} = 55000 - 19100 \log. \left(\frac{760\,(G+g)}{I_a\,A_0}\,(1 + 0{,}00366\,(t_1 - 10)\right);$$

setzt man jetzt hierin den Wert von

$$I_a = I\,\frac{1 + 0.00366\,(t_1 - 10)}{1 + 0{,}00366\,t_1}\,\frac{b}{b_a}$$

ein, so kommt, vorausgesetzt, dass $b_a = b$ ist:

$$H_{t-10} = 55000 - 19100 \log. \left(\frac{760\,(G+g)}{I\,A_0}\,(1 + 0{,}00366\,t_1)\right)$$

das heisst also, die Standhöhe würde sich durch die Temperaturerniedrigung nicht im geringsten ändern, wenn sich nicht gleichzeitig der Barometerstand in der Höhe ändern würde. Auf den Einfluss eines veränderten Barometerstandes kommen wir ja später zurück.

Die Temperatur im Ballon ändert sich aber nicht gleichzeitig mit der äusseren Temperatur, infolgedessen steigt der Ballon zunächst in leichtere Luftschichten, wodurch etwas vom Traggas aus der Ballonhülle austritt. Gleicht sich nachher die Temperatur im Balloninnern mit der äusseren Temperatur aus, so enthält der Ballon etwas weniger Traggas, als vor dem Temperatursturz, die Standhöhe ist also niedriger, als vorher. Wir können also zusammenfassen: Durch eine allgemeine Temperaturerniedrigung fällt ein Ballon mit ganz gefüllter Ballonhülle ohne Ballonet. Die neue Standhöhe erhält man, wenn man zunächst die Steighöhe in erster Annäherung aus Gleichung 14 ermittelt, mit den Werten $(t_1 - 10)$ als äussere und t_1 als innere Temperatur. Aus der Standhöhe, die man aus dieser Rechnung findet, verbessert man die Temperaturen $(t_1 - 10)$ und t_1 mit den Gleichungen 16 und 15 und wiederholt die Ermittlung. Hierauf setzt man die innere gleich der äusseren Temperatur und bildet eine neue Gleichung, die deswegen von komplizierterer Form ist, weil wegen der Volumenänderung des Traggases (deren Ausdruck Gleichung 8 ist) die Luftdruckänderungen beim Wechsel der Standhöhe in der Gleichung auftreten.

2) Der Einfluss allgemeiner Erhöhung der Temperatur.

Einfacher liegen die Verhältnisse bei einer allgemeinen Temperaturerhöhung. Ist dabei der Ballon nicht den Sonnenstrahlen ausgesetzt, so dass eine Insolation nicht auftritt, so bleibt das Balloninnere zunächst kühler, als die äussere Luft. Die Folge davon ist eine entsprechende Verringerung der Standhöhe, also ein Fall. Durch den Fall erhitzt sich aber wegen wärmemechanischer Vorgänge (deren Ausdruck Gleichung 15 ist) das Balloninnere, wodurch ein Ausgleich der Temperaturen zwischen innen und aussen beschleunigt wird. Herrscht schliesslich Temperaturgleichgewicht, so wird die Standhöhe durch Gleichung 18 gekennzeichnet, an deren einfacher Form nichts zu ändern ist, da Traggas während des Ausgleichsvorgangs nicht verloren ging. In Gleichung 18 ist jetzt anstatt t_1 eine neue, grössere Temperatur einzusetzen, der Logarithmus wird also grösser, und deshalb die Standhöhe geringer, als vor der allgemeinen Temperaturerhöhung. Auch diesmal ist das Resultat der Gleichgewichtsänderung ein Fall.

3) Einfluss des Aufhörens der Insolation.

Hat sich das Traggas durch die Bestrahlung auf die Temperatur T erwärmt, während die Atmosphäre ausserhalb des Ballons die kleinere Temperatur t besitzt, so nimmt der Ballon eine Standhöhe ein, deren Ausdruck Gleichung 14 ist. Hört nun die Bestrahlung auf (wenn z. B. der Ballon in den Schatten einer Wolke gelangt), so kühlt sich das Traggas schnell auf die äussere Temperatur ab, unter ständigem Sinken des Luftballons. Durch das Sinken wird durch wärmemechanische Vorgänge (deren Ausdruck Gleichung 15 ist) die Abkühlung verzögert. Ist schliesslich der Temperaturausgleich erfolgt, so steht das Luftschiff in einer Höhe, die aus Gleichung 18 bestimmt werden kann, wenn für t_1 ein Wert eingesetzt wird, der zwischen T und t liegt, und der durch mehrmalige Anwendung der Gleichung 14 eruiert werden kann, mit einer Genauigkeit, die von der Anzahl der Rechnungsoperationen abhängt, die man zu seiner Ermittlung aufwendet. Das

Resultat dieses Vorgangs, des Aufhörens der Insolationswirkung ist also wieder ein Fall.

4) Einfluss von Änderungen des Barometerstandes.

Nach Gleichung 7 beträgt der Auftrieb eines Ballons

$$A_1 = I\,A_0\,\frac{b}{760}\left(\frac{1}{1+0{,}00366\,t}\right)\text{ kg},$$

worin t die Temperatur in und um den Ballon bezeichnet. A_0 ist für jedes Luftschiff eine Konstante, und bedeutet den Auftrieb eines cbm seines Traggases bei 0° C und einem Barometerstand von 760 mm Quecksilber; I ist der Rauminhalt des Ballons in cbm. Dieser Auftrieb I A möge in einer Standhöhe H, in der der Barometerstand b herrscht, grade genügen, um das Luftschiff schwebend zu erhalten. Wird nun der Barometerstand b grösser, steigt er auf b_1 mm Quecksilber, so wird I, das nicht nur den Rauminhalt des Ballons, sondern auch den Rauminhalt des Traggases ausdrückt, entsprechend kleiner, es schrumpft auf den Rauminhalt

$$I_1 = I\,\frac{b}{b_1}\text{cbm}$$

ein, wenn die Temperatur t der Gase sich nicht ändert. Der Auftrieb des Ballons ist also jetzt

$$A_I = I_1\,A_0\,\frac{b_1}{760}\left(\frac{1}{1+0{,}00366\,t}\right)\text{ kg};$$

setzt man den eben gefundenen Wert für I_1 in diese Gleichung ein, so kommt

$$A_I = I\,A_0\,\frac{b}{760}\left(\frac{1}{1+0{,}00366\,t}\right)\text{ kg},$$

der Auftrieb hat sich also durch die Änderung des Barometerstandes in der Höhe nicht geändert, und der Ballon würde seine Standhöhe nicht ändern, wenn nicht gleichzeitig die Temperaturen Änderungen erführen. Die Wirkung der Temperaturenänderungen auf die Standhöhe haben wir schon untersucht. Danach wird in den meisten Fällen ein Fall auch die Folge einer Vergrösserung des Barometerstandes sein.

Fällt das Barometer, so dehnt sich das Traggas in der Ballonhülle entsprechend aus. Ist die Ballonhülle nicht ganz gefüllt, so dass das neue Volumen $I_2 = I\ (b/b_2)$ des Traggases in ihr Platz hat, so wird, wie beim Steigen des Barometers, der Auftrieb nicht geändert, wenn nicht die Temperatur eine andre wird. Ist die Hülle aber schon ganz mit Traggas angefüllt, so dass etwas von dem Traggas ins Freie strömt, so wird der neue Auftrieb

$$A_1 = I\,A_0\ \frac{b_2}{760}\left(\frac{1}{1+0{,}00366\,t}\right)\ \text{kg},$$

also kleiner, als vorher und der Ballon fällt, auch wenn Temperaturänderungen mit den Änderungen des Barometerstandes nicht verbunden sind. Aus wärmemechanischen Gründen ist aber eine Änderung des Barometerstandes ohne Temperaturänderungen gar nicht möglich.

Wir sehen, alle natürlichen Vorgänge, die den Ballon in der Höhe beeinflussen können, bewirken schliesslich ein Fallen des Luftschiffs, ganz gleich, ob sich die Temperatur allgemein erhöht, oder erniedrigt, ob der Barometerstand grösser oder kleiner wird, jede Änderung hat das Luftschiff mit einem Sturz zu bezahlen, zu dessen Unschädlichmachung Ballast geopfert werden muss. Kommt es also darauf an, eine Fahrt möglichst lange auszudehnen, so hat man sich so wenig wie möglich vom Erdboden zu entfernen, um stets ein möglichst grosses Quantum Ballast an Bord zu haben, und alle Eventualitäten, allen Änderungen der Temperatur und des Luftdrucks durch Abgabe von Ballast möglichst lange trotzen zu können.

Die Berechnung des Ballonets.

Sehr vorteilhaft auf das Verhalten des Ballons in der Luft wirkt es, wenn die Hülle nicht ganz mit Traggas gefüllt ist, weil sich dann das Traggas ausdehnen kann, ohne dass es gleich die Hülle verlässt, und für den weiteren Luftschiffzweck verloren geht. Noch besser aber ist es, wenn man das Traggas in der Hülle fest einschliesst, und die Volumenänderungen des Traggases durch

einen Luftsack, das Ballonet ausgleicht. Bei Luftballons behilft man sich, wie wir gesehen haben, gern ohne Ballonet, weil es den Luftballon schwerer macht, und weil der Luftballon nur für kurze Fahrten bestimmt ist; für die Motor-Luftschiffe aber hat das Ballonet die allergrösste Bedeutung, und es ist gelungen, solche Luftschiffe durch die Wirkung des Ballonets mit einer und derselben Traggasfüllung mehr als vier Wochen lang dienstfähig zu erhalten.

Immerhin kompliziert das Ballonet den Luftschiffbau, und man muss deshalb darauf achten, dass es nicht grösser ausfällt, als für den bestimmten Zweck eines Luftschiffs durchaus notwendig ist. Es darf aber auch nicht kleiner sein, sonst verfehlt es seinen Zweck ganz.

Über die notwendige Grösse informieren folgende Überlegungen:

Wiegt das gesamte Luftschiff samt Gondeln, Armaturen, Motoren, Leinen, Mannschaften G kg, und wiegt der Ballast, den man mitnehmen will, und das Motorbenzin g kg, so hätte man bei 0^0 C und bei einem Barometerstand von 760 mm Quecksilber $(G+g)$: $A_0 = I_0$ Kubikmeter Traggas in die Ballonhülle einzufüllen. Die I_0 cbm nehmen aber beim Barometerstand b und bei der Temperatur T nach Gleichung 8 einen Raum von

$$I = I_0 \, (1 + 0{,}00366 \, T) \, \frac{760}{b} \text{ cbm}$$

ein. Für jedes Motor-Luftschiff wird nun von vorn herein eine gewisse Aktionsphäre angenommen, in der es leistungsfähig bleiben muss. Darüber hinaus werden keine Leistungen von dem Fahrzeug verlangt, oder doch nur in der Art, dass es Extra-Leistungen nicht als sofort weiter betriebfähiges Fahrzeug zu überstehen braucht. Man nimmt z. B. als normal-maximale Steighöhe für ein Motor-Fahrzeug 500 m an; eine solche Höhe soll es jederzeit aufsuchen können, ohne an seiner Aktionsfähigkeit Einbusse zu erleiden, ohne also Traggas zu verlieren. Wenn es gelegentlich bedeutend höher steigen soll, so verlangt man dann nur, dass es wie ein gewöhnlicher Luftballon relativ sicher zur Erde gebracht werden kann,

um hier neu mit Traggas versehen zu werden zu weiteren normalen Dienstleistungen.

Man normiert also für das Luftschiff eine gewisse höchste Standhöhe H, in der unter normalen Witterungsverhältnissen der Barometerstand b_h herrscht, und nimmt als Temperatur des Traggases in dieser Höhe eine sehr hohe Insolationstemperatur T an, das heisst, man rechnet damit, dass sich die I_0 cbm Traggas des Luftschiffes bis auf ein Höchstvolumen

19) $$I_h = I_0 (1 + 0{,}00366\ T) \frac{760}{b_h} \text{ cbm}$$

ausdehnen werden. Das Volumen I_h ist dann als Rauminhalt der Ballonhülle anzusehen, mit der man das Luftschiff auszustatten hat. In der Höhe 0 am Erdboden in Meereshöhe bei 0° C. nimmt das Traggas aber nur den Raum von I_0 cbm ein; wird die Temperatur noch kleiner, so wird der Rauminhalt des Traggases bei normalem Barometerstand noch geringer. Bei höherem Barometerstand nimmt das Volumen noch weiter ab. Will man hierbei eine tiefste Temperatur t und einen höchsten Barometerstand b_e als eventuell einmal vorkommend berücksichtigen, so rechnet man darauf, dass das Volumen des Traggases unter normalen Verhältnissen auch auf den Betrag

$$I_e = I_0 (1 + 0{,}00366\ t) \frac{760}{b_e} \text{ cbm}$$

zusammenschrumpfen kann.

Nun ist aber doch nicht immer das ganze Traggas in der Ballonhülle eingeschlossen; etwas geht auch durch die dichteste Hülle mit der Zeit verloren. Trotzdem muss das Luftschiff eine Zeit lang ohne Nachfüllung gebrauchsfähig bleiben, bis die Verluste einen gewissen Betrag erreicht haben. Rechnet man damit, dass der Auftrieb des Luftschiffs durch Gasverluste mit der Zeit um den Betrag G_v kg abnimmt, wobei G_v natürlich kleiner sein muss, als g kg, das Gewicht des Ballastes und des Motorbenzins, so dass man durch entsprechende Verringerung von g den Verlust G_v paralysieren kann, so wird das kleinste Volumen, das das Traggas bei 0° und 760 mm Quecksilber annehmen kann:

$[(G + g) - G_v] : A_0 = I_k$ cbm. Drückt man G_v in Prozenten vom Höchstgewicht $(G + g)$ des Luftschiffs aus, schreibt man also $G_v = p\,(G + g)$, wobei p eine Zahl ist, die den Wert 0,05 oder 0,10 haben wird, oder etwas mehr oder weniger, je nach den speziellen Dispositionen, so wird $I_k = (1 - p)\,\frac{(G + g)}{A_0} = (1 - p)\,I_0$ cbm, und damit erhalten wir als das kleinste Volumen überhaupt, das das Traggas des Luftschiffes einnehmen kann

20) $$(1 - p)\,I_e = (1 - p)\,I_0\,(1 + 0{,}00366\,t)\,\frac{760}{b_e}\text{ cbm,}$$

worin $I_0 = (G + g) : A_0$ ist.

Der Hülle ist also ein Rauminhalt von I_h cbm nach Gleichung 19 zu geben. Das Gas nimmt aber unter Umständen nur einen Raum von $(1 - p)\,I_e$ cbm ein. Soll die Hülle trotzdem immer prall gefüllt sein, so ist auch ein Ballonet in die Hülle einzufügen, das $I_h - (1 - p)\,I_e$ cbm aufzunehmen vermag. Befindet sich das Luftschiff in der höchsten normalen Betriebs-Standhöhe unter den ungünstigsten Witterungsverhältnissen, so nimmt das Traggas den Rauminhalt der ganzen Ballonhülle für sich in Anspruch und das Ballonet ist ganz von Luft entleert; unter allen übrigen normalen Betriebsumständen aber befindet sich mehr oder weniger Luft im Ballonet, um das jeweilige Volumen des Traggases zum Gesamtvolumen der Ballonhülle zu ergänzen. Als Rauminhalt des Ballonets können wir schreiben:

21) $$I_b = I_h - (1 - p)\,I_e =$$

$$\frac{G + g}{A_0}\left((1 + 0{,}00366\,T)\,\frac{760}{b_h} - (1 - p)\,(1 + 0{,}00366\,t)\,\frac{760}{b_e}\right)\text{ cbm,}$$

worin b_h der kleinste vorkommende Luftdruck in der Höhe, b_e der grösste vorkommende Luftdruck auf der Erde, t die tiefste vorkommende Temperatur an der Erde, und T die höchste Insolationstemperatur in der Höhe ist; p bezeichnet die zulässigen Traggasverluste als Bruchteil der gesamten grössten Traggasmenge bis zur erneuten Nachfüllung der Ballonhülle, G das Gewicht des Luftschiffs insgesammt, aber exklusive Ballast und Motorbenzin, dessen Gewicht g kg beträgt. Es soll sein: pI_0 kleiner als

$g : A_0$. Der Auftrieb eines cbm Traggas bei 0^0 C. und einem Luftdruck von 760 mm Quecksilber ist A_0.

Nehmen wir als Höchstwert von T eine Temperatur von 50^0 C. als noch in Frage kommenden Wert von t eine Temperatur von 20 Grad Kälte, also -20^0 C., und als höchsten Luftdruck an der Erde 780 mm Quecksilber an, so geht Gleichung 21 über in

22) $$I_b = \frac{G+g}{A_0}\left(\frac{900}{b_h} - 1 + 0{,}9\,p\right) \text{cbm};$$

nehmen wir einen Verlust von $5\,\%$ als zulässig an, so wird $p = 0{,}05$, das Ballast- und Benzingewicht darf höchstens $g = 0{,}05\,(G+g)$ kg betragen und es wird:

$$I_b = \frac{G+g}{A_0}\left(\frac{900}{b_h} - 0{,}955\right) \text{cbm}\ (p = 0{,}05);$$

rechnet man aber mit $10\,\%$ Verlusten, wobei g höchstens $0{,}1\,(G+g)$ kg betragen darf, so kommt

$$I_b = \frac{G+g}{A_0}\left(\frac{900}{b_b} - 0{,}91\right) \text{cbm}\ (p = 0{,}10).$$

Entnimmt man aus Tabelle VI Seite 63 für verschiedene Höhen die entsprechenden normalen Werte für b_h, so erhält man für die nachfolgenden höchsten normalen Fahrthöhen des Luftschiffs die beigeschriebenen Ballonetgrössen:

Normale Fahrthöhe bis m	Ballonetgrösse Ib in cbm			
	$p = 0{,}5$	$I_b : I_h$	$p = 0{,}10$	$I_b : I_h$
100	$((G+g) : A_0)\ 0{,}240$	0,200	$((G+g) : A_0)\ 0{,}285$	0,238
200	$((G+g) : A_0)\ 0{,}255$	0,210	$((G+g) : A_0)\ 0{,}300$	0,247
300	$((G+g) : A_0)\ 0{,}270$	0,220	$((G+g) : A_0)\ 0{,}315$	0,256
400	$((G+g) : A_0)\ 0{,}285$	0,229	$((G+g) : A_0)\ 0{,}330$	0,265
500	$((G+g) : A_0)\ 0{,}298$	0,237	$((G+g) : A_0)\ 0{,}343$	0,273
600	$((G+g) : A_0)\ 0{,}315$	0,247	$((G+g) : A_0)\ 0{,}360$	0,282
700	$((G+g) : A_0)\ 0{,}328$	0,255	$((G+g) : A_0)\ 0{,}272$	0,290
800	$((G+g) : A_0)\ 0{,}345$	0,264	$((G+g) : A_0)\ 0{,}390$	0,299
900	$((G+g) : A_0)\ 0{,}362$	0,274	$((G+g) : A_0)\ 0{,}407$	0,308
1000	$((G+g) : A_0)\ 0{,}375$	0,281	$((G+g) : A_0)\ 0{,}420$	0,315

Der Wert $(I_b : I_h)$ gibt die Grösse des Ballonets als Bruchteil vom gesamten Rauminhalt der Ballonhülle an, und lässt deren

Verhältnis ohne weiteres erkennen. Es zeigt, dass das Ballonet bedeutende Dimensionen annimmt, wenn es wirklich wirksame sein soll. Gewöhnlich findet man als Verhältnis der Ballonetgrösse zum Gesamtvolumen nur den Wert 0,2, der, wie wir sehen, nur in engen Grenzen ausreicht, und das Luftschiff von vielen Zufällen abhängig macht. Will man ein vom Wetter ziemlich unabhängiges Luftschiff haben, so wird man sich zum Einbau grösserer Ballonets entschliessen müssen.

Die Traggase der Motor-Luftschiffe.

Der Gasballon des Motor-Luftschiffes soll ein möglichst kleines Volumen besitzen, denn mit der Grösse des Gasballons steigt nicht nur der Luft-Widerstand und die notwendige Motorgrösse, sondern auch die Schwierigkeit des Ausbalanzierens des Luftschiffes und anderes mehr. Als Traggas kämen demnach nur sehr hoch erhitzte Luft[1]), Wasserdampf, Leuchtgas und Wasserstoffgas in Betracht. Zur Zeit, da man in der Motorluftschiffahrt noch mit allerhand Schwierigkeiten zu kämpfen hat, die erst nach und nach überwunden werden, benutzt man nur Wasserstoffgas zum Betriebe der Gasballons, trotz des hohen Preises dieses Gases, weil Wasserstoffgas den höchsten Auftrieb äussert, und die Betriebsschwierigkeiten mit dem relativen Volumen des Ballons bedeutend abnehmen. Wie wir noch sehen werden, wird es vielleicht auch gelingen, das Wasserstoffgas zu verbilligen.

Es ist wohl nicht überflüssig, wenn wir auf die gebräuchlichen und projektierten Herstellungsarten von Wasserstoff an dieser Stelle näher eingehen.

1. Chemische Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff.

1) Das Hydricverfahren. Im russisch-japanischen Krieg kam für die Ballons der Armee das Hydricverfahren zur Anwendung (nach Angaben der Ballonfirma August Riedinger, Augsburg, in

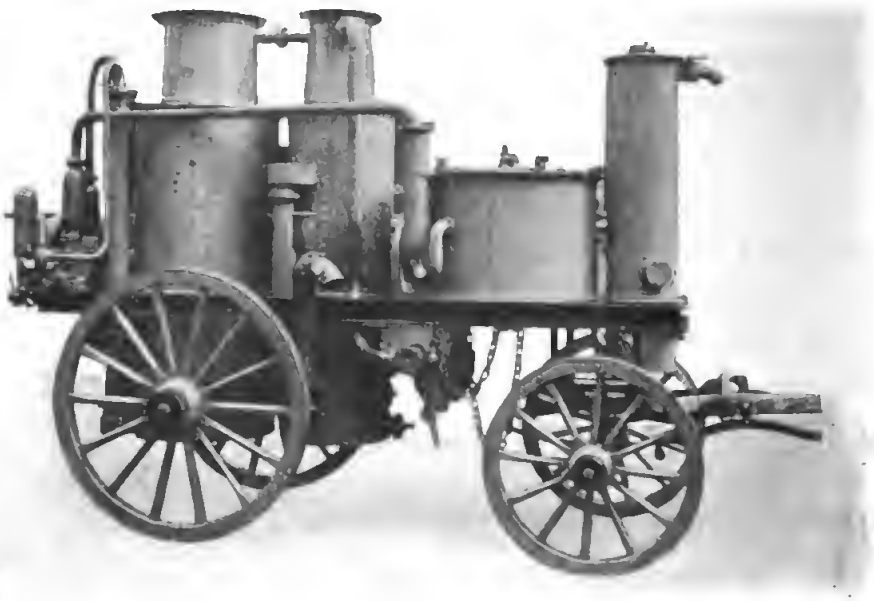
1) In „Der Gasstromerzeuger" von Dr. Wegner ist ein Apparat beschrieben, der zur Versorgung von Ballons mit hocherhitzter Luft während der Fahrt bestimmt ist. Die Broschüre ist zum Preise von 1,50 M. im Verlage: C. J. E. Volckmann Nachf. in Rostock i. M. 1908 erschienen.

ihrem prachtvollen neuen Katalog über alles Wesentliche der Ballonschiffahrt). Die Erzeugung von 1 cbm Gas erfordert 1 kg Aluminium, ca. 1,6 Ätznatron und ca. 6,5 kg Wasser. Zum Waschen des Gases werden noch ca. 50 Liter Wasser gebraucht. Die ganze Apparatur kann der Luftschiffertruppe nachgeführt werden. Der zu transportierende Materialaufwand beträgt nur 2,6 kg per cbm Gas ohne Berücksichtigung des Wassers. Die Kosten betragen per cbm ca. 2,80 bis 3 M. Bei richtig durchgeführtem Vergasungsprozess bleiben keine Rückstände übrig. Die drahtlose Telegraphie bedient sich dieser Apparate, die bei sehr geringem Raumbedarf für eine stündliche Produktion von 10 cbm nur 157 kg wiegen.

2) Das Regenerativ-Verfahren, durch Überleiten von Wasserdampf über glühende Kohlen. Das Wasser, das ca. 89% Sauerstoff und 11% Wasserstoff enthält, wird dadurch zerlegt. Der frei werdende Sauerstoff wird durch Eisendrehspähne gebunden. Nach dem System Lane erhält man 94 prozentigen Wasserstoff mit einem Aufwand von 3 kg bester Steinkohle per cbm. Die Kosten betragen demnach ca. 6 Pfennig per cbm. Die Anlagen können aber nur stationär hergestellt werden. Die Anlage ist starkem Verschleiss unterworfen.

3) Schwefelsäure-Eisen-Verfahren. Eisenfeilspähne werden in verdünnter Schwefelsäure zersetzt. Bei stationärem Betrieb sind per cbm Wasserstoff 3 kg Drehspähne und 4,7 kg Schwefelsäure erforderlich. Kostet die (arsenfreie, um Vergiftungen zu verhüten) Säure 12,50 M. und die reinen und ölfreien Drehspähne 6,60 M. per 100 kg, so betragen die baren Auslagen ca. 0,78 M. per cbm Gas. Zur Verdünnung der Säure und zur Reinigung des Gases ist an Wasser das mindestens 10fache Quantum der Säure notwendig. Muss das Rohrmaterial den Truppen nachgeführt werden, so beträgt das Material per cbm Gas ca. 7,7 kg. Die Anlage erfordert ein solides Fundament zur Aufstellung der Mischgefässe, der Entwickler etc.

Diese Entwickler werden in Frankreich fahrbar gebaut, Fig. 37 zeigt einen solchen Entwickler, die Erzeugungskosten betragen bei diesen Apparaten aber per cbm Gas 4 kg Drehspähne und 8 kg Säure. Verwendet man unreine Säure zu 8,33 M. per 100 kg, so stellt sich der cbm auf ca. 0,90 M. Das Material, das per cbm dem Entwickler nachgeführt werden muss, wiegt 12 kg, wenn das am Orte der Entwicklung nötige Wasser vorhanden ist. Bei sorgfältiger Produktion ist ein Gas mit einem spez. Gewicht von



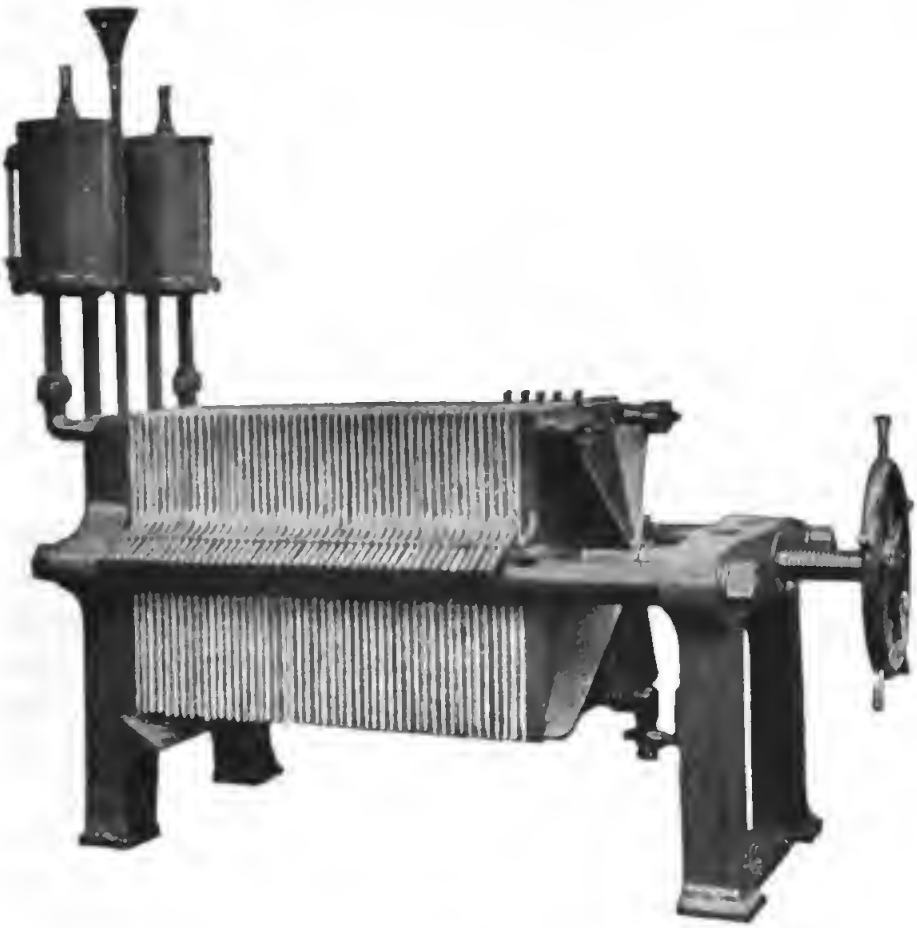
Figur 37

0,15 zu erzielen, das per cbm einen Auftrieb von 1,1 kg per cbm äussert. Die Apparate sind in vier Grössen zu haben, von einer Stundenleistung von 50 bis 60 cbm an mit einem Gewicht von 1250 kg, bis 150 cbm/Std. und 2100 kg Gewicht. Die Gase sind mit Arsen-Wasserstoff, Antimon-Wasserstoff, Selen- und Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoff verunreinigt, die giftig und dem Ballon schädlich sind. Ausgiebige Waschungen reduzieren die Verunreinigungen.

Digitized by Google

2) Elektrolytische Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff.

Durch Zersetzung von destilliertem Wasser, dem 10% Pottasche zugesetzt sind, durch den elektrischen Strom in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff wird neuerdings in grossem Massstabe Wasserstoff für Luftschiffahrtzwecke gewonnen. Zur



Figur 38

Erzeugung von 2 cbm Wasserstoff und 1 cbm Sauerstoff werden 12 Kilowatt elektrischer Energie verbraucht, womit 1,6 kg Wasser zersetzt werden. In Fig. 38 ist ein Wasserzersetzer der Maschinenfabrik Oerlikon für eine Leistung von 2,25 cbm Wasserstoff und 1,12 cbm Sauerstoff stündlich abgebildet. Die Apparate dieser Firma bestehen aus einer Anzahl hintereinander geschalteter Zellen,

deren Elektroden gusseiserne Platten sind, die aussen einen 30 mm breiten Rand besitzen und innen mit vertikal verlaufenden Rippen versehen sind. Zwischen den Platten befinden sich Diaphragmen aus reinem Asbestgewebe, mit einem ringsum laufenden Gummirand von ca. 30 mm Breite. Ein jedes Plattenpaar schliesst zwischen sich dadurch eine Zersetzungszelle ein. Die ganze Reihe der Platten wird in ein Gestell eingebaut und durch eine Schraube zusammengepresst. Die Ränder der Platten besitzen nun entsprechende Bohrungen und Schlitze, denen immer nur eine Gasart zuströmen kann. Den Apparaten kann das Gas unter Druck entnommen werden. Gewöhnlich beträgt der Überdruck 0,25 Atm., er kann aber bis auf 2,5 Atm. gesteigert werden. (Der abgebildete Apparat wird in ausgedehntem Masse auch in der autogenen Schweissung zur bequemen und billigen Erzeugung der Brennergase verwendet.) Etwas anders als die Firma Maschinenfabrik Oerlikon baut die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co., in Nürnberg ihre Elektrolyseure auf.

Der elektrolytische Wasserstoff ist sehr rein. Die Kosten per cbm betragen die Kosten der elektrischen Energie von 6 Kilowatt, sind also nicht hohe, wenn die elektrische Energie billig zu haben ist. Die Anlagen werden auch fahrbar hergestellt. Eine solche „Fliegende Gaszentrale“[1]) für eine Leistung von 230 cbm in 24 Stunden enthält, als Eisenbahnzug ausgebildet, folgende Einzelheiten: 2 Tenderlokomotiven, auch für Holzfeuerung ausgebildet, mit zweiachsigem Tender, die jede eine Bruttolast von 140 Tonnen befördern und dabei gleichzeitig Dampf abgeben zur Speisung je eines Dampfmotors von 90 PS; 2 Waggons mit je einem Dampfmotor und elektrischem Generator; 3 Waggons mit je einem Elektrolyseur, in zwei Waggons davon je ein Destillierapparat zur Erzeugung destillierten Wassers, und 2 Kompressoren, jeder für 5 cbm Leistung per Stunde. Je einer dieser Kompressoren dient als Reserve; 3 Waggons mit je 216 Gasflaschen à 36 Liter

1) Nach dem Katalog der Ballonfabrik August Riedinger, Augsburg.

Inhalt (man vergleiche Fig. 40); 1 Waggons zur Lagerung der Ballons und Geräte; 1 Waggon als Reparaturwerkstätte; 2 Waggons zum Aufenthalt der Mannschaften mit zusammen 32 Schlafpritschen, Küche, Waschraum etc. Für die Offiziere und Beamten wird noch ein Schlafwagen beigegeben.

3) Mechanische Verfahren zur Gewinnuug von Wasserstoff.

1) Fraktionierte Destillation.

Man versucht auch, Wasserstoff durch fraktionierte Destillation herzustellen, ähnlich, nur im Prinzip umgekehrt, wie Sauerstoff. Die Firma Gotthold Hildebrandt in Berlin SW 11 und Spandau, die Luftverflüssigungs-Maschinen herstellt, benutzt hierzu als Ausgangsprodukt Sauggas, das in fahrbaren Sauggasanlagen hergestellt wird. Fahrbare Sauggasanlagen waren bereits zum Betriebe von Sauggasmotoren für landwirtschaftliche Zwecke auf dem Markte. Ein kg Steinkohle (Anthrazit) liefert etwa 5,4 cbm Sauggas (auf 0 Grad und 760 mm Quecksilber reduziert), die etwa 500 bis 600 Liter Wasserstoff enthalten. Man kann auch minderwertigere Kohlen zur Sauggasbereitung benutzen. Der Heizwert des Sauggases beträgt per cbm etwa 1200 Cal. Entzieht man ihm durch fraktionierte Destillation, also durch Verflüssigung und Übergehenlassen der leichtesten Bestandteile, den Wasserstoff, so beträgt der Heizwert immer noch ca. 950 Cal., so dass das restierende Sauggas noch zum Betriebe der Motore verwendet werden kann, die die Anlage, also die Gas-Verflüssigungs-Maschinen und die Kompressoren, die den gewonnenen Wasserstoff verdichten, in Gang halten. Nach einer Analyse in „v. Ihering, Die Generatoren zur Gaserzeugung“ (Leipzig 1907) wurden aus 1 kg Kohle (Anthrazit) aus der Zeche Bonne Espèrance, Herstal, Belgien, von 8 bis 15 mm Korngrösse, zum Preise von 160 M. für 10000 kg ab Zeche (mit einem Heizwert von 7795 Cal. per kg), 5,446 cbm Sauggas (von 0 Grad bei 760 mm Quecksilber) gewonnen, die einen Heizwert von 6680 Cal. besassen, so dass der Wirkungsgrad des Sauggasgenerators $6680 : 7795 = 0{,}858$ betrug. Das Gas ent-

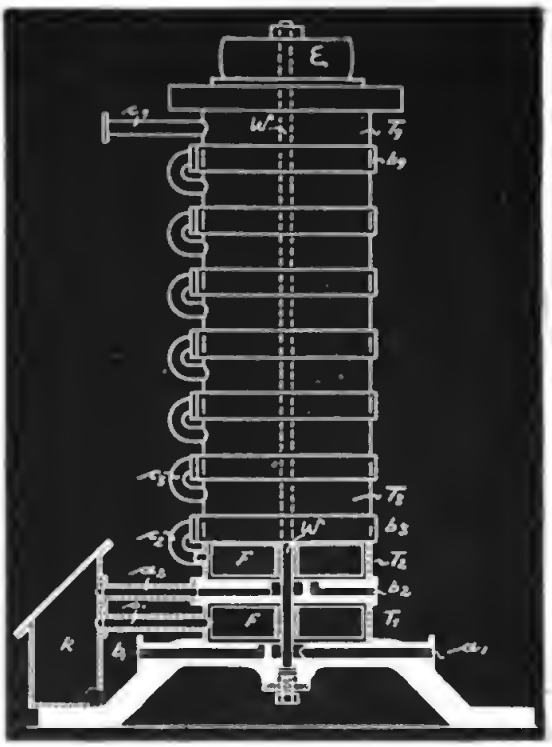
hielt: Kohlensäure (CO_2) 2,43%, Sauerstoff 0,80%, Kohlenoxyd 24,83%, Wasserstoff 11%, Methan 2,30%, Stickstoff 58,74%.

Die Herstellung eines cbm Wasserstoff würde etwa 2 kg bester Kohlen erfordern, so dass der Wasserstoff sehr billig wird, zumal ein Teil der Wärme-Energie der Kohlen in der Anlage selbst zur Gasverflüssigung und Wasserstoffverdichtung verbraucht wird. Diese Verhältnisse stellen sich ungefähr wie folgt: Zur Herstellung von 10 cbm/Std. Wasserstoff werden in der Sauggasanlage 20 kg/Std. Anthrazit verfeuert, von deren Wärmeenergie etwa 100000 Cal./Std. für reine Kraftzwecke verfügbar bleiben. Ein Sauggasmotor gebraucht nun etwa 3500 Cal./Std. Wärmeenergie für die PS/Std., so dass 100000 : 3500 = 28 PS/Std. neben den 10 cbm/Std. Wasserstoff disponibel werden. Die stationären und fahrbaren Sauggasanlagen sind eine vollständig ausprobierte Sache, die sich zu tausenden in der Praxis im täglichen Gebrauch befindet; fahrbare Gasverflüssigungsanlagen werden auch schon seit langem, z. B. von der Firma Hildebrandt hergestellt, so dass man von den Versuchen einen praktischen Erfolg erwarten darf. Erwähnenswert ist noch, dass der Wasserstoff aus Sauggas nicht die gefährlichen Gifte enthält, wie der aus Schwefelsäure und Eisenfeilen.

2) Gasspalter.

Schon seit langer Zeit war man bemüht, namentlich in Frankreich, Gasgemenge durch Zentrifugieren in einzelne Komponenten zu zerlegen. Zentrifugierte man zum Beispiel Luft, so erwartete man, dass sich dieses Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff in Stickstoff und den ca. 1,13 mal so schweren Sauerstoff spalten würde, und man jede Komponente einzeln der Zentrifuge wird entnehmen können. Man übersah dabei, dass die beiden Gase sich gegenseitig in Lösung befinden, und dass sie eine gewisse Lösungstension zu einander besitzen (eine mechanische Erklärung dieser Kräftekonstellationen findet man in „Die Einheit der Naturkräfte in der Thermodynamik, von Dr. Wegner (Veith & Co., Leipzig 1904). Der Effekt einer einzelnen Zentrifuge kann

deshalb nur ein sehr geringer sein. Neuerdings ist man nun bestrebt, einen praktischen Effekt durch Hintereinanderschalten sehr vieler Zentrifugen, ev. hunderter zu erzwingen. In Fig. 33 ist ein solcher „Gasspalter" schematisch dargestellt; Bei a_1 strömt das Ausgangsprodukt, etwa Luft, dem man den Sauerstoff entziehen will, in den Apparat. In der Trommel T_1 wird es zentrifugiert. Die an Sauerstoff reichere Komponente strömt durch c_1 in den Reinigungskasten K, und durch a_2 in die Trommel T_2, von dort nach T_3 und so fort, ev. durch hunderte von Trommeln. Die an Sauerstoff ärmere Komponente strömt durch b_1 und T_1 ins Freie, ebenso aus den übrigen Trommeln. Der Motor E setzt alle Zentrifugen gemeinsam in Bewegung. Das Ausgangsprodukt für Wasserstoff ist Sauggas.



Figur 39

4) Die Aufspeicherung von Wasserstoff.

Man kann Wasserstoff natürlich auch wie Leuchtgas in Gasometern aufspeichern, für die Zwecke der Luftschiffahrt kommt diese Methode jedoch kaum in Frage, da es hier darauf ankommt, wenigstens in den meisten Fällen, dass der Vorrat mobil ist. Zwei Wege stehen hierzu offen, die Aufspeicherung in Bomben, und die Verflüssigung.

1) Die Aufspeicherung in Bomben.

Man benutzt hierzu Bomben von etwa 36 Liter Inhalt von der Form Fig. 34. Die Bomben haben 19 cm Innendurchmesser, ca. 1,4 m Länge bei 0,9 cm Wandstärke; sie wiegen ca. 64 kg. Die Flaschen werden mit Wasserstoff von 150 Atm. Druck bei gewöhnlicher Temperatur durch Kompressoren gefüllt. Der Druck bei dem sie platzen, beträgt etwa 570 Atm. (Bruchfestigkeit des Materials = 60 kg/gmm), die Sicherheit ist also eine 3fache.

Figur 40

Bleiben die Flaschen gefüllt in der Sonne liegen, und erhitzt sich ihr Inhalt dadurch auf ca. 70 Grad, so steigt der Druck auf etwa 190 Atm., erreicht also noch keine gefährliche Höhe.

Man hat Flaschen, die 2 Jahre gefüllt aufbewahrt wurden, auf Gasverluste untersucht, und gefunden, dass ein nennenswerter Verlust nicht festzustellen war (nach Angaben der Ballonfabrik August Riedinger in dem schon mehrfach erwähnten Katalog).

Jede Flasche müsste also etwa 0,036 mal 150 oder 5,4 cbm Wasserstoffgase enthalten. Indessen, bei so hohen Drücken gilt nicht mehr das Mariotte-Gesetz für Wasserstoff; nach Cailletet ist für dieses Druckverhältnis $p : P = (v : V)$ 0,932, so dass man erhält $p V = 0{,}932\ P v = 5$ cbm. 100 Flaschen enthalten also 500 cbm und 1000 Flaschen 5000 cbm Wasserstoff. Man gebraucht also für die Motor-Luftschiffahrt eine beträchtliche Anzahl davon. Deshalb ist es auch nicht empfehlenswert, die Flaschen grösser zu wählen (man bekommt sie bis 60 l Rauminhalt und ca. 102 kg Gewicht) weil sonst ein Mann nicht mehr damit hantieren kann.

2) Die Aufspeicherung in Transportsäcken.

Anstatt der schweren Bomben benutzt man, namentlich in Frankreich, auch wohl Transportsäcke zum Mitführen des Wasser-

stoffs ins Gelände. Figur 41 zeigt eine Anzahl solcher Säcke, die in Grössen von 25 bis 100 cbm Rauminhalt angefertigt werden. Die kleineren Säcke werden kugelförmig, die grösseren zylindrisch geformt. 8 Mann oder 4 Reiter sollen solchen Sack, der natürlich

Figur 41

nicht schwer ist; (er wiegt wegen des Auftriebs der Gase beinah fast nichts), bequem transportieren können. Für den Eisenbahntransport eignen sich die Säcke natürlich nicht.

3) Die Verflüssigung des Wasserstoffs.

Sehr bequem wäre es für die Luftschiffahrt, wenn man den Wasserstoff in flüssigem Zustande auch länger aufbewahren könnte, wie die flüssige Luft. Die Temperatur des flüssigen Wasserstoffs bei Asmosphärendruck liegt allerdings bei — 252,5 Grad (nach Travers), während die Temperatur der flüssigen Luft bei — 182,7 Grad C. liegt. Flüssige Luft lässt sich in geeigneten Gefässen verhältnismässig lange Zeit, ca. 14 Tage lang aufbewahren (Dewarsche Flaschen) während flüssiger Wasserstoff sich unter den gleichen Umständen nur einige Stunden hält. Das liegt wohl weniger an der tieferen Temperatur der Flüssigkeit, denn das Temperaturgefälle zur Temperatur der umgebenden Atmosphäre ist nur ca. 39% grösser als bei Luft, und den Wärmeübergang kann man proportional dem Temperaturgefälle setzen, der flüssige Wasser-

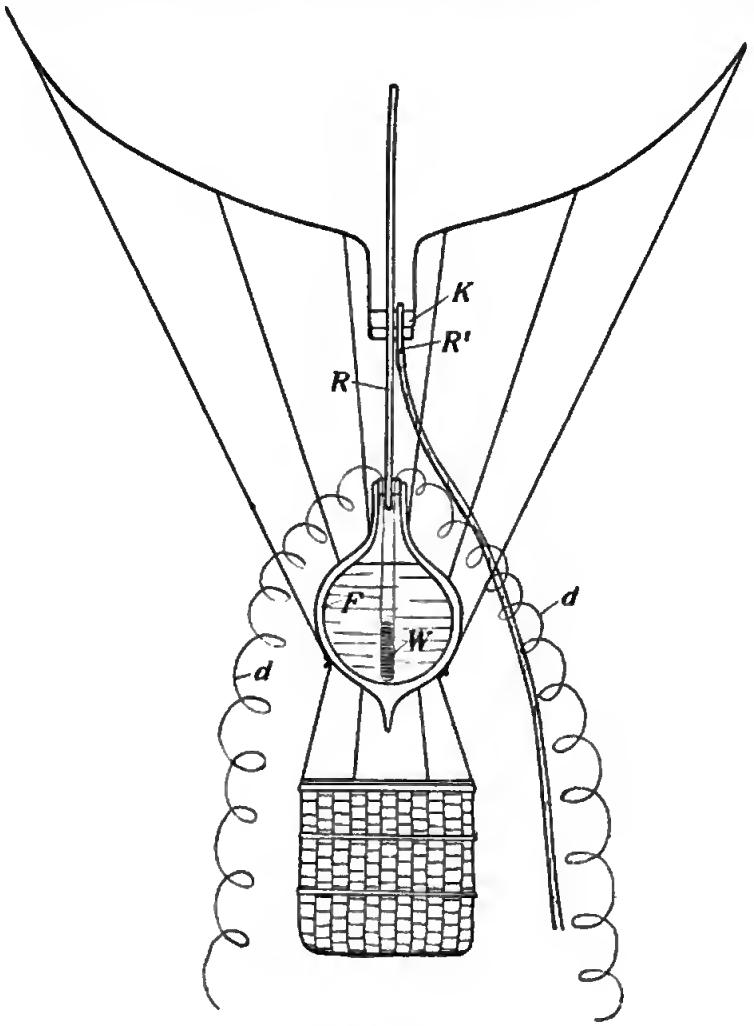
stoff scheint aber eine geringere Verdampfungswärme als die flüssige Luft zu besitzen. Die Untersuchungen darüber sind noch nicht abgeschlossen. Nach der Troutonschen Regel (z. B. O. D. Chwolson, „Lehrbuch der Physik" Band III, Seite 663ff; Braunschweig 1905) berechnet sich die Verdampfungswärme des Wasserstoffs bei Atmosphärendruck auf ca. 210 Cal./kg oder 14,7 Cal./Liter, beträgt. Hiernach müsste Wasserstoff ca. (253/183) · (68/14,7) oder 6,4 mal so schnell verdampfen, als das gleiche Volumen Sauerstoff.

1 Liter flüssigen Sauerstoffs entwickelt nach Olzewski 778 Liter Gas von 0 Grad C und Atmosphärendruck, man könnte also das Gas für einen 2400 cbm Ballon in einem Dewarschen Gefäss von etwa 3 cbm Inhalt in flüssigem Zustande unterbringen. Dieser Vorrat an Wasserstoff wiegt, vom Gefäss abgesehen, nur ca. 200 kg, der von ihm erzeugte Auftrieb beträgt aber über 2600 kg.

Flüssiges Traggas als Ballast.

Ein Projekt von Professor H. Erdmann in Charlottenburg will dieses Verhältnis für die praktische Luftschiffahrt nutzbar machen. An Bord eines Luftballons Figur 42 wird eine Weinholdsche Flasche F (eine Flasche in Kolbenform mit doppelten versilberten Wänden nach Art der bekannten „Thermosflaschen", in denen sich nach Professor Erdmann auch Wasserstoff in flüssigem Zustande praktisch genügend lange aufbewahren lässt) untergebracht, die mit flüssigem Wasserstoff angefüllt ist. In die Flasche resp. in den Wasserstoff ragt der elektrische Widerstand W hinein, durch den vermittels der Drähte d vom Ballonkorb aus nach Bedarf der elektrische Strom einiger Akkumulatoren geschickt werden kann. Der Ballon ist mit Leuchtgas, oder mit irgend einem andern Traggas angefüllt, er besitzt kein Ballonet, und ist unten offen. Im Abschnitt „Beeinflussung der Standhöhen durch Änderung des Zustandes der Atmosphäre" haben wir gesehen, dass das Dasein eines solchen einfachen Luftballons, dem aber doch wegen seiner Einfachheit von Luftschiffern vor den Ballons mit Ballonet der Vorzug gegeben wird, in der Luft von fortwährenden Gasverlusten

begleitet ist. Hat nun der Auftrieb des Ballons abgenommen, so muss frischer Auftrieb ausgelöst werden. Bei gewöhnlichen Ballons opfert man ein entsprechendes Quantum Ballast, und macht dadurch ein entsprechendes Quantum Traggas, dass solange zum Ausgleich



Figur 42

des Gewichts dieses Ballastes diente, für den Luftschiffbetrieb also nur passiv sich verhielt, für die Fahrt aktiv. Professor Erdmann führt nun anstatt dieses Ballastes, oder wenigstens anstatt eines Teils davon flüssigen Wasserstoff (oder ein andres Traggas) an Bord. Hat der Auftrieb des Ballons abgenommen, so wird ein

elektrischer Strom durch den Widerstand W in der Flasche F geschickt. Hierdurch wird dem Wasserstoff eine gewisse Wärmemenge zu geführt, und ein entsprechender gut dosierbarer Teil davon vergast. Hierdurch wird zweierlei erreicht: Zuerst wird das Gewicht des flüssigen Wasserstoffs, also des Ballastes verringert, wodurch ja schon der Auftrieb des Ballons relativ vermehrt wird. Gleichzeitig strömt aber durch das Rohr R der vergaste Wasserstoff in den Ballon und wirkt nun hier wie eine Nachfüllung als frisches Traggas, wodurch der Auftrieb des Ballons um einen wirklichen positiven Betrag vermehrt wird.

Enthält die Flasche 1 kg Wasserstoff, so kann man daraus nach und nach ca. 11 cbm Wasserstoffgas gewinnen, die den Auftrieb des Ballons an sich um 14 kg vermehren, wozu noch die Gewichtserleichterung des Ballons um 1 kg kommt, so dass man aus 1 kg Wasserstoffgas ca. 15 kg Auftrieb entwickeln kann, aus ca. 70 g ein kg Auftrieb. Ein kg flüssigen Wasserstoff kann man in einer ca. 15 Literflasche unterbringen, die sich wie ein kleiner Schwefelsäureballon von 32 cm Innendurchmesser präsentiert.

Wie schon gesagt, braucht das flüssige Traggas nicht gerade Wasserstoffgas zu sein; mit diesem sind aber die praktischen Ergebnisse am verblüffendsten, wie Versuche in der Technischen Hochschule in Charlottenburg erkennen liessen. Wenn erst flüssiger Wasserstoff billiger und bequemer im Handel zu haben sein wird, werden die Erdmannschen Anordnungen sicher grosse praktische Bedeutung erlangen.

Das Baumaterial der Luftschiffe.

1. Ballonstoffe.

Leichtigkeit und Gasdichtigkeit sind die beiden Pole, zwischen denen sich die Frage nach der Wahl des Ballonstoffes bewegt, man möchte gern das eine erreichen und das andre nicht missen.

Dabei soll der Stoff aber auch haltbar sein. Man hat diese Ziele im Laufe der Zeit auf verschiedenen Wegen verfolgt:

Viel versprach man sich von der Verwendung von Goldschlägerhaut als Material der Traggashülle. Goldschlägerhaut ist die Darmhaut des Blinddarmes vom Rinde; sie ist sehr fein und an sich gasdicht. Zur Bildung der Traggashülle werden mehrere Häute übereinandergelegt. Man gebraucht natürlich sehr viele Häutchen zur Herstellung einer Ballonhülle. Die sorgsame Aufbewahrung solcher Ballons macht besondere Schwierigkeiten, weil die Häute gern von Mikroorganismen angegriffen werden. Die Ballons sind auch wenig haltbar und nicht billig, vollkommen gasdicht sind sie natürlich wegen der vielen Näte auch nicht. Man trifft denn auch solche Ballons nur noch selten.

Am meisten werden dicht gewebte Stoffe verwendet, sowohl Perkale wie Seide. Die Gasdichtheit dieser Stoffe wird dadurch zu erreichen gesucht, dass man die Stoffe firnist oder gummiert. Gummierte Ballons fallen schwerer aus als gefirniste, gefirniste sind auch billiger als gummierte, haben aber den Nachteil grosser Empfindlichkeit gegen unzarte Behandlung beim Landen und Verpacken. Welchen Stoffen nun eigentlich der Vorzug zu geben ist, darüber sind die Meinungen sehr geteilt[1]). Tatsache ist, dass man jetzt auch in Frankreich, das sonst gefirniste Ballons bevorzugte, mehr gummierte Hüllen (aus Deutschland) verwendet.

Zur weiteren Beleuchtung dieser Frage seien nun hier die Mitteilungen zweier bekannter Ballonstoffabriken wiedergegeben. Die Firma Franz Clouth in Köln-Nippes schreibt:

„Die kautschukierten Stoffe werden meist in der Form angewandt, namentlich bei grösseren Ballons, dass sie zwischen zwei Lagen von Baumwollstoff eine Lage Gummi enthalten. Dieselben sind vorzüglich gasdicht; eine absolute Gasdichtigkeit lässt sich überhaupt nicht erzielen, weil das Leuchtgas, wie auch das Wasserstoffgas auf Gummi und auch Firniss nicht ohne Einfluss bleiben.

1) Man vergl. „Gummierte oder gefirnisste Ballons?“ von Dr. K. Bamler in der „Deutschen Zeitschrift für Luftschiffahrt“ Heft 17 vom Jahre 1908.

Meine Firma hat aber bis jetzt stets die höchsten Anforderungen in dieser Beziehung zu befriedigen verstanden.

Zuerst sind wohl in früheren Jahrhunderten gefirnisste Baumwoll- und Seidenstoffe verwandt worden. Die kautschukierten Stoffe kamen zuerst vor ca. 25 Jahren in Aufnahme. Die Gewichte derselben variieren zwischen 150 g (einfacher Stoff) und 600 g (dreifacher Stoff) pro qm; die Festigkeit beträgt 400 bis zu 2400 kg pro Breitmeter; die Preise betragen je nach der Konstruktion der Stoffe 4 bis 20 M. pro qm.

Für kleinere Ballons (bis zu 600 cbm) werden anstatt der doppelten auch wohl einfache Stoffe verwandt, die auf der Innenseite gummiert sind.

Die kautschukierten Ballons werden heute im Allgemeinen vorgezogen; auch die französischen Luftschiffer benutzen sie in der neuesten Zeit mit Vorliebe.

Die Dauerhaftigkeit der Ballons hängt wesentlich von ihrer Behandlung und den Ereignissen ab. Man kann annehmen, dass ein gut behandelter Ballon, der nicht durch Zufälle beschädigt wird, 80—100 Fahrten erlebt.

Für Motorballons (Luftschiffe) werden meistens dreifache Stoffe verwandt und gerade doublierte, bei denen also Kette mit Kette und Schuss mit Schuss gleichlaufend ist. Die Aussenseite wird heute bei fast allen gummierten Ballons gelb gefärbt, weil durch diese Färbung der Stoff weniger von der Sonne angegriffen wird. Auch werden die Stoffe für Motorballons noch auf der Innenseite mit einer dritten Kautschuklage versehen."

Die Firma Kontinental Kautschuk- und Guttapercha-Kompanie in Hannover schreibt:

„Wir fertigen einfach gummierte und dublierte Ballonstoffe und zwar letztere gerade, sowie diagonal dubliert, in den verschiedensten Zusammenstellungen.

Einfach gummierte Stoffe werden in der Hauptsache für Ballons zu meteorologischen Zwecken verwendet, sowie für

Reklameballons, dublierte Ballonstoffe finden Verwendung vor allen Dingen zu freifliegenden Ballons und lenkbaren Luftschiffen.

Preise lassen sich für Ballonstoffe nicht angeben, da zu ihrer Herstellung beste ägyptische Baumwolle sowie das beste Paragummi Verwendung findet, deren Notierungen der Konjunktur unterworfen sind.

Nachstehend eine Zusammenstellung der in letzter Zeit hergestellten Ballonstoffe:

Nr.	Bezeichnung	Gewicht per qm	Haltbarkeit in Kette/Schuss	
5	grauer Ballonstoff, einfach gummiert	195g	710kg	840kg
9	gelber „ „ „	195„	620„	560„
56II	Aeroplanstoff, „ „	150„	1000„	1000„
21	Double Ballonstoff, grade dubliert	220„	700„	630„
26	„ „ diagonal „	290„	900„	850„
F	„ „ „ „	330„	809„	860„
K	„ „ grade „	330„	1440„	1600„
58	„ „ diagonal „	390„	1200„	1300„
71	„ „ „ „	260„	620„	620„
65	Dreifacher Ballonstoff	490„	2240„	2460„
	grauer Klebstoff	150„		
	gelber „	150„		
	Klebstoff Double Faced, eine Seite warm vulkanisiert	225„		

Sämtliche obigen Ballonstoffe sind warm vulkanisiert, und haben eine Gasdurchlässigkeit von unter 10 Litern pro qm Oberfläche innerhalb 24 Stunden bei 30 mm Wasserdruck ergeben".

2) Zugfestigkeit von Drähten (nach der „Hütte").

Material	Zugfestigkeit in kg per qmm
Eisendraht, blank gezogen	56—70
„ geglüht	40
Flusseisendraht, verzinkt und geglüht	40—43
Bessemerstahldraht, blank	65
„ geglüht	40—60
Tigelstahldraht	90—190
Zinkdraht	19
Kupferdraht	40

458878

Material	Zugfestigkeit in kg per qmm
Bronzedraht	46—71
Siliziumbronzedraht	65—85
Doppelbronzedraht	76
Höpermetalldraht, blank	140
„ geglüht	63
Deltametalldraht	bis 98
Messingdraht	50
Aluminiumdraht	23—27
Magnaliumdraht	33—37
Bleidraht, hart	2,2
„ weich	1,7

3) Zugfestigkeit von Kabeln

(mitgeteilt von der Ballonfabrik August Riedinger, Augsburg).

Vergleich von Stahlkabeln mit Hanfseilen:

Hanfseile aus I. Qualität Italiener Langhanf, Reisslänge ca. 9000 m.			Ballonkabel mit gleicher Festigkeit aus bestem Stahldraht, Reisslänge ca. 20000 m.			
6,0	3,0	250	1,8	1,2	0,2	42
7,2	4,3	360	2,3	2,0	0,3	28
8,3	6,0	490	2,5	2,2	„	35
9,1	7,3	580	2,8	3,0	„	42
9,7	7,6	660	3,0	3,5	„	49
11,0	9,9	840	3,5	4,0	0,4	35
12,0	12,0	1000	3,7	5,0	„	42
12,8	13,5	1175	4,2	6,0	„	49
14,3	16,3	1400	4,3	7,0	0,5	35
15,2	18,8	1650	4,5	8,0	„	42
16,6	22,7	1950	5,0	9,0	„	49
18,6	28,8	2400	6,0	11,0	„	60
20,1	32,5	2800	6,6	13,0	„	70
20,7	34,8	2900	6,7	14,0	„	72
21,9	38,3	3350	7,2	16,0	„	84
23,7	45,3	3900	7,3	18,0	„	98
25,5	49,1	4500	7,5	21,0	„	114
27,6	63,0	5300	8,5	24,0	„	133

Im allgemeinen beträgt die Zugfestigkeit nach der „Hütte" bei

	Zugfestigkeit per qmm in kg
Lederriemen gebraucht und neu	2,5 bis 4,5
Manila- und Schleiss-Hanfseile, neu	12
gebraucht	5

III. Die dynamischen Verhältnisse der Motorballons.

Motorstärke, Treibarbeit. Treibschrauben und ihr Wirkungsgrad.

Dem Vortreiben des Luftschiffs durch die Treibvorrichtung leistet die Luft einen gewissen Widerstand W, den man schreiben kann

23) $$W = c\, D^2\, V^2 \,kg$$

das heisst, der Widerstand in Kilogramm ist gleich einer Konstanten c, multipliziert mit dem Quadrat des grössten Durchmesser in Metern des Ballons D, und dem Quadrat der Bewegungsgeschwindigkeit des Luftschiffs V in Metersekunden. Zur Überwindung dieses Widerstandes ist die Arbeit von

24) $$N_i = W \frac{V}{75} \,PS$$

zu leisten, eine Arbeit, die der Schiffbauer die „nützliche Arbeit des achsialen Schubes" nennt. Das Luftschiff wird aber (wie das Wasserschiff) von Treibschrauben in der Luft vorgetrieben, die unter allen Umständen mit Verlusten arbeiten. Das hat seinen Grund in den natürlichen Vorgängen an der Treibschraube, und kann durch keinerlei Mätzchen vermieden werden, wie sich viele Erfinder von merkwürdigen Treibschraubenkonstruktionen einbilden.

Man kann sich das etwa so plausibel machen: Die Treibschraube setzt einerseits Luftmassen nach rückwärts in Bewegung, indem ihre Flügel fortdauernd immer neue Luftmassen ergreifen und während der Berührungszeit einen Druck nach rückwärts darauf ausüben, und ihnen mit möglichst gleichmässiger Be-

schleunigung eine gewisse Geschwindigkeit erteilen. Die Luft drückt nun zurück auf die Flügel, solange sie mit ihnen in Berührung ist. Dieser Druck ist der Triebdruck der Treibschraube. Das von der Schraube getriebene Luftschiff bewege sich nun mit der Geschwindigkeit V. Könnte man es nun so einrichten, dass die nach rückwärts abgestossene Luft ebenfalls von der Treibschraube nur auf die Geschwindigkeit V beschleunigt würde, so würde die Luft faktisch, sobald sie nicht mehr mit den Flügeln in Berührung ist, still stehen bleiben, denn das Luftschiff, von dem sie so zu sagen abprallt, bewegt sich ja auch mit der Geschwindigkeit V. In diesem Falle besässe die abgestossene Luft nach der Berührung keine Energie auf Kosten der die Treibschraube in Bewegung setzenden Energie, und es wäre theoretisch möglich, wenn man von den gewöhnlichen Reibungsverlusten absieht, dass alle der Treibschraube zugeführte Energie direkt zur Bewegung des Luftschiffs ausgenutzt würde. In diesem Falle, und nur in diesem wäre der höchste theoretisch mögliche Wirkungsgrad der Schraube eine Eins. Lässt man aber eine Treibschraube sich so bewegen, dass die von ihr bestrichene Luft relativ zum Luftschiff die Geschwindigkeit V, absolut aber die Geschwindigkeit O annimmt, denn diese Verhältnisse bestehen ja schon vor der Bestreichung, so müsste man den Schraubenflügeln die sogenannte tote Steigung geben, damit sie sich in der Luft fortschrauben kann, wie eine Eisenschraube in einer Schraubenmutter. Es ist wohl klar, dass in diesem Falle ein Druck auf die Luft nicht ausgeübt wird, es kann demnach auch kein Triebdruck entstehen. Damit dieser hervorgerufen wird, müssen die Flügel unbedingt eine sogenannte Treibneigung gegen die tote Neigung erhalten. Eine Folge davon ist, dass die von den Flügeln beschleunigte Luft unbedingt noch eine gewisse absolute Geschwindigkeit, eine gewisse Energiemenge e besitzen muss, wenn sie nicht mehr mit den Flügeln in Berührung ist. Diese Energie ist für das Luftschiff verloren. Ist zum Vortreiben des Luftschiffs die Energie E nutzbar geworden, so musste der Motor also die Energie $E + e$ dazu hergeben, und $E : (E + e)$

bezeichnet den Grad der Ausnutzung der Motorleistung für den Flugschiffzweck, oder den Wirkungsgrad der Treibschraube, der demnach niemals 1 sein kann, auch theoretisch nicht. Diese Feststellungen schienen nötig, weil selbst in technischen Kreisen darüber Unklahrheit herrscht. Diese Verhältnisse sind nicht etwa nur den Treibschrauben eigentümlich, auch für Treibräder (nach Art der Dampfschiffräder) gelten die selben Betriebsbedingungen. Solche Räderkonstruktionen für Luftschiffe tauchen jetzt vielfach auf. Ich halte solche Projekte für ganz aussichtslos, und bitte jedenfalls, mir nichts mehr davon zur Begutachtung einzusenden.

Durch die Verluste an der Treibschraube erscheint der Luftwiderstand ganz bedeutend grösser, als er faktisch ist. Ist η der Wirkungsgrad der Treibschraube, so ist der scheinbare Luftwiderstand

25) $$W' = W : \eta$$

Analog von (23) kann man schreiben

26) $$W' = C\, D^2\, V^2 \text{ kg},$$

worin $C = c : \eta$ ist. Und ebenso wird die wirkliche Motorleistung:

27) $$N_e = W' \frac{V}{75} = C\, D^2\, V^3 \cdot \frac{1}{75} = N_i : \eta \text{ PS}.$$

Nun ist aber auch (man vergl. „Der praktische Flugschiffer" vom Autor dieser Arbeit, Seite 52 ff)

28) $$N_e = N_i + 1{,}4 \frac{W}{75} \sqrt{\frac{W}{f}} = W \frac{V}{75} + 1{,}4 \frac{W}{75} \sqrt{\frac{W}{f}} \text{ PS}$$

wenn f der Flächeninhalt der Treibschraubenflügel in qm ist. Gleichung 28 gilt nur annähernd, denn in ihr ist von reinen Reibungsverlusten abgesehen, auch gilt sie streng nur für parabolisch gekrümmte Flügelflächen, und wenn die Treibneigung nicht zu gross ist, es hat sich aber herausgestellt, dass die Reibungsverluste bei Treibschrauben nur sehr geringfügig sind, und dass es auch gar nicht so genau auf die Form der Flügelflächen ankommt. Der Wirkungsgrad der Treibschraube wird also durch die Beziehung ausgedrückt:

29) $$\eta = \frac{N_i}{N_e} = \frac{V}{V + 1{,}4 \sqrt{W/f}}$$

woraus hervorgeht, dass der Wirkungsgrad abnimmt mit der Zu-

nahme der Grösse W/f, der spezifischen Belastung der Treibschraubenflügel. Dazu kommt, dass man die Flügel nicht beliebig grösser machen kann, sie sollen nur den fünften Teil des von ihnen bestrichenen Flügelkreises zum Flächeninhalt haben, wenigstens bei schnell laufenden Schrauben.

Mit diesen Gleichungen lassen sich alle Eigenschaften eines Luftschiffs leicht ausmitteln, deren Kenntnis dann einen Einblick in die Qualität seiner dynamischen Eigenschaften gestattet.

Beispiel einer Luftschiffbestimmung.

Die Durchrechnung eines Beispiels wird den Gang solcher Bestimmungen am einfachsten klar legen.

Wir wählen als Beispiel den Parseval 1908, der in Figur 27 abgebildet ist. Von diesem Luftschiff besitzen wir einige Kenntnis der Treibschraubendimensionen, die wir unbedingt brauchen.

Zuerst ermitteln wir den wirklichen Luftwiderstand des Parseval aus Gleichung 28. Hierzu steht uns zur Verfügung: $N_e = 100$ PS, V soll gleich 15 m/sek. betragen haben, für f wollen wir 3,0 qm annehmen. An den Flügelflächen ist viel geändert worden. Setzen wir diese Werte in (28) ein, (man löst am besten (28) nicht nach W auf, denn dann entsteht aus einer Gleichung dritten Grades eine unübersichtliche Beziehung zwischen W und den übrigen Werten) so kommt

$$100 = 0{,}2\,W + 0{,}0108\,W\sqrt{W}, \text{ oder } W(18{,}5 + \sqrt{W}) = 9300$$

woraus man nach einigem Probieren findet $W = 266$ kg.

Setzen wir diesen Wert in Gleichung 23 ein, so wird, da $D = 9{,}5$ m und $V = 15$ m/sek. ist

$$266 = c : 20300 \text{ oder } c = 0{,}0131.$$

Der Wert c ist der wahre Faktor der Form, der den Luftwiderstand eines Luftschiffes kennzeichnet.

Wir bestimmen nun noch den Wirkungsgrad der Treibschraube und finden aus 29

$$\eta = \frac{15}{28{,}2} = 0{,}533$$

Die Treibschraube nutzt demnach 53 Prozent der Motorleistung für den Flugzweck aus, was ein sehr günstiger Wert wäre. Bei grossen Schiffsschrauben erreicht man im besten Falle nur 60 bis 70 Prozent Ausnutzung. Bei Luftschrauben liegen die Verhältnisse zwar insofern günstiger, als die zu überwindenden Widerstände gegenüber den Abmessungen der Schrauben relativ klein sind. Aber immerhin sind 53% Nutzeffekt auch für Luftschrauben viel.

Die nützliche Arbeit des achsialen Schubes beträgt beim Parseval bei 15 m/sekd. Geschwindigkeit $\eta \cdot N_e = 53$ Ps. Der scheinbare Widerstand beträgt $W : \eta = W' = 500$ kg, und der scheinbare Faktor der Form $c : \eta = 0{,}0246$.

Die Bestimmung der Luftschiffsgeschwindigkeit V bei der Leistung N_e des Motors ist praktisch ziemlich schwierig, weil die Windgeschwindigkeit dabei berücksichtigt werden muss. Man vergleiche den Abschnitt „Was verstehen wir unter der Fluggeschwindigkeit V". Man kann sich also leicht irren. Man kann aber trotzdem mit Gleichung 28 den wahren Luftwiderstand und damit die andern Werte gut ermitteln, denn diese Gleichung ist für Änderungen von V nicht sehr empfindlich. Das liegt an den Verhältnissen von N_i zu N_e. Wäre z. B. die Höchstgeschwindigkeit des Parseval nur 13 m/sek. gewesen, während der Motor $N_e =$ 100 PS leistete, so würde sich aus (28) der wahre Luftwiderstand auf ca. 282 kg berechnen, also auf einen von dem ersteren nur wenig verschiedenen Wert. Der wahre Faktor der Form würde aus Gleichung 23 schon wesentlicher anders lauten, er würde sein, aus $282 = c \cdot 15250$, $c = 0{,}0185$. Auch der Treibschrauben-Wirkungsgrad präsentiert sich dann etwas anders, er wird aus (29) jetzt 0,49, was immer noch einen hohen Grad von Vollkommenheit bedeuten würde.

Wenn von einem Luftschiff nur die Werte N_e, V und D, aber nicht von F, zur Verfügung stehen, so muss man sich mit der Bestimmung der scheinbaren Widerstände begnügen; im nächsten Abschnitt wollen wir eine Anzahl Bestimmungen durchführen.

Die dynamischen Eigenschaften einiger bekannter Luftschiffe.

Den scheinbaren Luftwiderstand W' eines Luftschiffs kann man aus Gleichung 27 ohne weiteres bestimmen, wenn man V und N_e kennt. Hieraus ergibt sich dann aus (26) der scheinbare Faktor der Form C, zu dessen Bestimmung man D kennen muss. Die Kenntnis von C gestattet schon einen rohen Vergleich verschiedener Luftschiffe miteinander bezüglich der Zweckmässigkeit ihrer Formen: je mehr der scheinbare Faktor der Form C eines Luftschiffes den selben Wert eines andern Luftschiffes überragt, desto wahrscheinlicher ist es, dass die Form des ersteren günstiger gestaltet werden kann. Es ist aber möglich, dass die Formen eines scheinbar ungünstigeren Luftschiffs trotzdem besser ausgebildet sind, und dass sein C nur deshalb grösser als das des andern Luftschiffs erscheint, weil seine Treibschrauben ungünstiger arbeiten. Einen sicheren Schluss in dieser Richtung lässt nur die Kenntnis des Wertes von η resp. von c, des wahren Faktors der Form aus Gleichung 23 (über (28)) zu, wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben.

Tabelle VII.

Die Betriebsverhältnisse einiger bekannter Luftschiffe.

Art des Luftschiffs	Ballon			Anzahl d. Treibschr.	Flügelanzahl	N_e bei V		$C = \frac{N_e \cdot 75}{V^3 \cdot D}$
	Inhalt l	Länge L	gr. Durchm. D					
Hänlein 1872	2400	50.4	9,2	1	—	6	5,2	0,038
Renard & Krebs 1883/84	1864	50,5	8.4	1	2	9	6,5	0,035
Zeppelin I 1900	11000	128	11,7	4	4	32	8	0,0342
							9 (?)	0,0242
Zeppelin II 1906/07	11431	128	11,7	4	3	85	11,1	0,034
						170	14	0,034
						170	15 (?)	0,0275
Parseval 1906	2500	48	8,9	1	4	85	13	0,0365
Parseval 1907/08	3800	58	9.5	1	4	100	13	0,0378
							15 (?)	0,0246
Lebaudy-Juillot 1903	2284	56.5	9.8	2	2	40	10	0,0313
1904	2666	57.8	9.8	2	2	40	10	0,0313
1905	2950	57,8	10.3	2	2	50	11	0.0265
(La Patrie) 1906	3150	60	10,3	2	2	70	11	0,0370

Man sieht, dass die Werte von C sehr verschiedene Grössen zu haben scheinen, vielleicht aber handelt es sich, wie schon gesagt, nur um Verschiedenheiten der Treibschrauben. Dann ist aber auch zu beachten, dass von den zur Berechnung von C notwendigen Werten nur der von D ziemlich sicher ist. Schon N_e ist nicht mehr so ganz sicher, denn die Benzinmotore arbeiten nicht immer gleichmässig. Um hierbei nicht zu sehr auf Schätzungen angewiesen zu sein, müssten die Motore öfter abgebremst werden. Doch wer tut das! Nun aber V, die Fluggeschwindigkeit, die in dritter Potenz in die Rechnung eingeht! Bei der Feststellung von V kann man sich sehr leicht irren. Man vergleiche auch den Abschnitt „Was verstehen wir unter der Fluggeschwindigkeit V?"

Die analytische Berechnung des Luftwiderstandes.

Man kann den wahren Widerstand eines Ballons auch aus seiner Form berechnen, und so den wahren Faktor der Form analytisch bestimmen. Solche Rechnungen gelten im allgemeinen als unsicher. Wir wollen eine Rechnung durchführen, um zu zeigen, worin diese Unsicherheit besteht.

Man kann sich zur Berechnung des Luftwiderstandes der Gleichung bedienen:

$$30) \qquad W = 0{,}0516\, V^2\, D^4 \left(\frac{1}{D^2 + 4\, S_1^2} + \frac{1}{D^2 + 4\, S_2^2} \right) \text{kg},$$

worin V die Geschwindigkeit des Luftschiffs in Metersekunden, D sein grösster Durchmesser in Metern, S_1 die Länge der vorderen Spitze in Metern, und S_2 die Länge der hinteren Spitze in Metern ist.

Die Gleichung 30 ist ein Ausdruck der Annahme, dass die die Luft durchdringende Fläche, die hier kreiskegelförmig gestaltet ist, die Luftteilchen in einem unelastischen Stoss vor sich her verdrängt und hinter sich in ganz analoger Weise dynamisch ebenso beeinflusst, dass also die Spitze und das Ende des Ballons

im Prinzip den gleichen Luftwiderstand verursachen. Bisher war man andrer Ansicht. Man glaubte, nur vor einer Fläche entstehe ein Bewegungswiderstand. Mit den dieser Ansicht zu Grunde liegenden Rechnungsmethoden kann man aber z. B. die Vorgänge an Gleitfliegern nicht fassen, die praktischen Ergebnisse der dynamischen Flugmaschinen passen nicht zu dieser Anschauungsweise, sie ergeben sich aber sofort durch die Rechnung, wenn man voraussetzt, dass die Vorderseite einer Fläche genau dieselbe Wirkung ausübt, wie die Rückseite. (Näheres darüber findet man in meinem „Praktischen Flugschiffer" Seite 28ff, der im gleichen Verlage erschien.)

Will man mit dieser Gleichung den Widerstand W bestimmen, so merkt man gleich, worin die Schwierigkeit besteht, nämlich in der einwandfreien Festsetzung der Spitzenlängen S. Verhältnismässig einfach liegt die Sache, wenn man einen Ballon französischer Form vor sich hat, der an einer Stelle einen grössten Durchmesser D besitzt, und sich dann sowohl nach vorn, wie nach hinten verjüngt. Solche Ballons bestehen aus zwei Spitzen, und man kann in der Festlegung ihrer Länge nur wenig fehl gehen. Es genügt auch praktisch, wenn man annimmt, die Spitzen seien kreiskegelförmig gestaltet. Zylindrisch geformte Ballons lassen sich weniger zuverlässig bestimmen, noch schwerer aber Ballons von der Parsevalform, die auch die des deutschen Militärballons ist. Die Bestimmung wird hier wenigstens so unsicher, dass sie jeden Wert verliert. Ein Beispiel möge die Gleichung erläutern.

Der scheinbare Luftwiderstand des Zeppelin berechnet sich aus Gleichung 27 für $V = 14$ m/sek und $N_e = 170$ PS auf $W' = 913$ kg. Berechnen wir den Luftwiderstand des Ballons aus (30) für kreiskegelförmige Spitzen von 15 bis 16 Meter Länge, indem wir für $D = 11{,}7$, $V = 14$ einsetzen, so erhalten wir für eine Spitzenlänge von 16 Metern $W = 360000 : 1161$ oder 310 kg, für eine Spitzenlänge von 15 Metern wird $W = 360000 : 1037$ oder 346 kg. Die Werte würden darauf schliessen lassen, dass der übrige Teil des Luftschiffs der Luft viel Widerstand bietet, denn der wirk-

liche Luftwiderstand des Zeppelin wird, einen Treibschraubenwirkungsgrad von 60 % vorausgesetzt, bei 0,6 · 913 oder 550 kg liegen. Man könnte nun auch die Luftwiderstände des übrigen Luftschiffs und die Luftreibung an dem langen Ballon analytisch zu ermitteln suchen. Man sieht aber wohl, dass sich praktisch mit den Ermittlungen nicht viel anfangen lässt. Für einen Voranschlag wird man sich auch lieber an die praktischen Ergebnisse früherer Ausführungen halten, in die Tabelle VII einen Einblick gibt.

Was verstehen wir unter der Fluggeschwindigkeit V?

Es ist vielleicht nicht überflüssig, an dieser Stelle nochmals zu bemerken, dass unter V nicht die absolute Fluggeschwindigkeit des Luftschiffs zur Erde verstanden werden darf, sondern die relative Fluggeschwindigkeit des Luftschiffs zur Luft der Umgebung. Bewegt sich die Luft selber mit 5 m/sek Geschwindigkeit, weht also ein 5 Meter Wind, und fliegt das Luftschiff durch die Arbeit seines Motors mit 10 m/sek gegen den Wind, so ist $V = 10$, die absolute Fluggeschwindigkeit des Luftschiffs bezogen auf die Erde ist aber nur $(10 - 5)$ oder nur 5 m/sek. Mit dem Winde würde die Luftschiffgeschwindigkeit $(10 + 5)$ oder 15 m/sek betragen. Soll das Luftschiff ein Ziel direkt senkrecht zur Windrichtung erreichen, so hat es einen Punkt anzusteuern, der (arcus sin 5/10) oder etwa 30 Grad gegen den Wind liegt, und seine absolute Fluggeschwindigkeit zur Erde würde $10 \cdot \cos 30^0$ oder etwa 8,0 m/sek betragen. Diese absoluten Geschwindigkeiten gehen also in unsere Berechnungen garnicht ein und haben überhaupt mit den Leistungen der Dinge, die uns hier beschäftigten, garnichts zu tun.

Mantissen der Briggs-

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	00 000	00 432	00 860	01 284	01 703	02 119	02 531	02 938	03 342	03 743
11	04 139	04 532	04 922	05 308	05 690	06 070	06 446	06 819	07 188	07 555
12	07 918	08 279	08 636	08 991	09 342	09 691	10 037	10 380	10 721	11 059
13	11 394	11 727	12 057	12 385	12 710	13 033	13 354	13 672	13 988	14 301
14	14 613	14 922	15 229	15 534	15 836	16 137	16 435	16 732	17 026	17 319
15	17 609	17 898	18 184	18 469	18 752	19 033	19 312	19 590	19 866	20 140
16	20 412	20 683	20 952	21 219	21 484	21 748	22 011	22 272	22 531	22 789
17	23 045	23 300	23 553	23 805	24 055	24 304	24 551	24 797	25 042	25 285
18	25 527	25 768	26 007	26 245	26 482	26 717	26 951	27 184	27 416	27 646
19	27 875	28 103	28 330	28 556	28 780	29 003	29 226	29 447	29 667	29 885
20	30 103	30 320	30 535	30 750	30 963	31 175	31 387	31 597	31 806	32 015
21	32 222	32 428	32 634	32 838	33 041	33 244	33 445	33 646	33 846	34 044
22	34 242	34 439	34 635	34 830	35 025	35 218	35 411	35 603	35 793	35 984
23	36 173	36 361	36 549	36 736	36 922	37 107	37 291	37 475	37 658	37 840
24	38 021	38 202	38 382	38 561	38 739	38 917	39 094	39 270	39 445	39 620
25	39 794	39 967	40 140	40 312	40 483	40 654	40 824	40 993	41 162	41 330
26	41 497	41 664	41 830	41 996	42 160	42 325	42 488	42 651	42 813	42 975
27	43 136	43 297	43 457	43 616	43 775	43 933	44 091	44 248	44 404	44 560
28	44 716	44 871	45 025	45 179	45 332	45 484	45 637	45 788	45 939	46 090
29	46 240	46 389	46 538	46 687	46 835	46 982	47 129	47 276	47 422	47 567
30	47 712	47 857	48 001	48 144	48 287	48 430	48 572	48 714	48 855	48 996
31	49 136	49 276	49 415	49 554	49 693	49 831	49 969	50 106	50 243	50 379
32	50 515	50 651	50 786	50 920	51 055	51 188	51 322	51 455	51 587	51 720
33	51 851	51 983	52 114	52 244	52 375	52 504	52 634	52 763	52 892	53 020
34	53 148	53 275	53 403	53 529	53 656	53 782	53 908	54 033	54 158	54 283
35	54 407	54 531	54 654	54 777	54 900	55 023	55 145	55 267	55 388	55 509
36	55 630	55 751	55 871	55 991	56 110	56 229	56 348	56 467	56 585	56 703
37	56 820	56 937	57 054	57 171	57 287	57 403	57 519	57 634	57 749	57 864
38	57 978	58 092	58 206	58 320	58 433	58 546	58 659	58 771	58 883	58 995
39	59 106	59 218	59 329	59 439	59 550	59 660	59 770	59 879	59 988	60 097
40	60 206	60 314	60 413	60 531	60 638	60 746	60 853	60 959	61 066	61 172
41	61 278	61 384	61 490	61 595	61 700	61 805	61 909	62 014	62 118	62 221
42	62 325	62 428	62 531	62 634	62 737	62 839	62 941	63 043	63 144	63 246
43	63 347	63 448	63 548	63 649	63 749	63 849	63 949	64 048	64 147	64 246
44	64 345	64 444	64 542	64 640	64 738	64 836	64 933	65 031	65 128	65 225
45	65 321	65 418	65 514	65 610	65 706	65 801	65 896	65 992	66 087	66 181
46	66 276	66 370	66 464	66 558	66 652	66 745	66 839	66 932	67 025	67 117
47	67 210	67 302	67 394	67 486	67 578	67 669	67 761	67 852	67 943	68 034
48	68 124	68 215	68 305	68 395	68 485	68 574	68 664	68 753	68 842	68 931
49	69 020	69 108	69 197	69 285	69 373	69 461	69 548	69 636	69 723	69 810
50	69 897	69 984	70 070	70 157	70 243	70 329	70 415	70 501	70 586	70 672
51	70 757	70 842	70 927	71 012	71 096	71 181	71 265	71 349	71 433	71 517
52	71 600	71 684	71 767	71 850	71 933	72 016	72 099	72 181	72 263	72 346
53	72 428	72 509	72 591	72 673	72 754	72 835	72 916	72 997	73 078	73 159
54	73 239	73 320	73 400	73 480	73 560	73 640	73 719	73 799	73 878	73 957

schen Logarithmen.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	74 036	74 115	74 194	74 273	74 351	74 429	74 507	74 586	74 663	74 741
56	74 819	74 896	74 974	75 051	75 128	75 205	75 282	75 358	75 435	75 511
57	75 587	75 664	75 740	75 815	75 891	75 967	76 042	76 118	76 193	76 268
58	76 343	76 418	76 492	76 567	76 641	76 716	76 790	76 864	76 938	77 012
59	77 085	77 159	77 232	77 305	77 379	77 452	77 525	77 597	77 670	77 743
60	77 815	77 887	77 960	78 032	78 104	78 176	78 247	78 319	78 390	78 462
61	78 533	78 604	78 675	78 746	78 817	78 888	78 958	79 029	79 099	79 169
62	79 239	79 309	79 379	79 449	79 518	79 588	79 657	79 727	79 796	79 865
63	79 934	80 003	80 072	80 140	80 209	80 277	80 346	80 414	80 482	80 550
64	80 618	80 686	80 754	80 821	80 889	80 956	81 023	81 090	81 158	81 224
65	81 291	81 358	81 425	81 491	81 558	81 624	81 690	81 757	81 823	81 889
66	81 954	82 020	82 086	82 151	82 217	82 282	82 347	82 413	82 478	82 543
67	82 607	82 672	82 737	82 802	82 866	82 930	82 995	83 059	83 123	83 187
68	83 251	83 315	83 378	83 442	83 506	83 569	83 632	83 696	83 759	83 822
69	83 885	83 948	84 011	84 073	84 136	84 198	84 261	84 323	84 386	84 448
70	84 510	84 572	84 634	84 696	84 757	84 819	84 880	84 942	85 003	85 065
71	85 126	85 187	85 248	85 309	85 370	85 431	85 491	85 552	85 612	85 673
72	85 733	85 794	85 854	85 914	85 974	86 034	86 094	86 153	86 213	86 273
73	86 332	86 392	86 451	86 510	86 570	86 629	86 688	86 747	86 806	86 864
74	86 923	86 982	87 040	87 099	87 157	87 216	87 274	87 332	87 390	87 448
75	87 506	87 564	87 622	87 679	87 737	87 795	87 852	87 910	87 967	88 024
76	88 081	88 138	88 195	88 252	88 309	88 366	88 423	88 480	88 536	88 593
77	88 649	88 705	88 762	88 818	88 874	88 930	88 986	89 042	89 098	89 154
78	89 209	89 265	89 321	89 376	89 432	89 487	89 542	89 597	89 653	89 708
79	89 763	89 818	89 873	89 927	89 982	90 037	90 091	90 146	90 200	90 255
80	90 309	90 363	90 417	90 472	90 526	90 580	90 634	90 687	90 741	90 795
81	90 849	90 902	90 956	91 009	91 062	91 116	91 169	91 222	91 275	91 328
82	91 381	91 434	91 487	91 540	91 593	91 645	91 698	91 751	91 803	91 855
82	91 908	91 960	92 012	92 065	92 117	92 169	92 221	92 273	92 324	92 376
84	92 428	92 480	92 531	92 583	92 634	92 686	92 737	92 788	92 840	92 891
85	92 942	92 993	93 044	93 095	93 146	93 197	93 247	93 298	93 349	93 399
86	93 450	93 500	93 551	93 601	93 651	93 702	93 752	93 802	93 852	93 902
87	93 952	94 002	94 052	94 101	94 151	94 201	94 250	94 300	94 349	94 399
88	94 448	94 498	94 547	94 596	94 645	94 694	94 743	94 792	94 841	94 890
89	94 939	94 988	95 036	95 085	95 134	95 182	95 231	95 279	95 328	95 376
90	95 424	95 472	95 521	95 569	95 617	95 665	95 713	95 761	95 809	95 856
91	95 904	95 952	95 999	96 047	96 095	96 142	96 190	96 237	96 284	96 332
92	96 379	96 426	96 473	96 520	96 567	96 614	96 661	96 708	96 755	96 802
93	96 848	96 895	96 942	96 988	97 035	97 081	97 128	97 174	97 220	97 267
94	97 313	97 359	97 405	97 451	97 497	97 543	97 589	97 635	97 681	97 727
95	97 772	97 818	97 864	97 909	97 955	98 000	98 046	98 091	98 137	98 182
96	98 227	98 272	98 318	98 363	98 408	98 453	98 498	98 543	98 588	98 632
97	98 677	98 722	98 767	98 811	98 856	98 900	98 945	98 989	99 034	99 078
98	99 123	99 167	99 211	99 255	99 300	99 344	99 388	99 432	99 476	99 520
99	99 564	99 607	99 651	99 695	99 739	99 782	99 826	99 870	99 913	99 957

C. J. E. Volckmann Nachfolger, Rostock i. M.

Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau.

Von **Dr. R. Wegner von Dallwitz**, Physiker und Dipl.-Ingenieur. Gr. Okt., 44 Abbildungen. **Mk. 4.—, in Leinen geb. Mk. 5.—.**

Der praktische Flugschiffer

von **Dr. R. Wegner von Dallwitz**, Physiker und Dipl.-Ingenieur. Gr. Okt. 36 Abbildungen. **Mk. 2.—, in Leinen geb. Mk. 3.—.**

Der praktische Luftschiffer

von **Dr. R. Wegner von Dallwitz**, Physiker und Dipl.-Ingenieur. Gr. Okt. 42 Abbildungen. **Mk. 3.—, in Leinen geb. Mk. 4.—.**

Eine praktisch brauchbare Gasturbine.

Versuch einer Lösung des Gasturbinen-Problems mit einem vollständig durchkonstruierten Beispiel von **Dr. R. Wegner**, Physiker und Dipl.-Ingenieur. Mit 6 Abbildungen . . . . . **Mk. 1.—.**

Der Gasstromerzeuger.

Eine neue Wärmekraftmaschine für motorische und Heizzwecke im Motorenbau, in der Kalk- und Zement-Fabrikation, der keramischen und chemischtechnischen Industrie etc. und in der Luftschiffahrt von **Dr. R. Wegner**, Physiker und Dipl.-Ingenieur. Mit 7 Abbildungen . . . . . **Mk. 1.50.**

Die Explosions-Gasturbine als Reaktionsturbine,

in Theorie u. Konstruktion von **Dr. R. Wegner von Dallwitz**, Physiker und Dipl.-Ingenieur. Mit 8 Abbildungen . . . . . **Mk. 1.50.**

Verbrennungs-Gasturbine oder Explosionsgasturbine?

und Erfahrungen im Gasturbinenbau.

Die Dallwitz-Petroleum-Gasturbine

von **Dr. R. Wegner von Dallwitz**, mit 7 Abbildungen **Mk. 1.25.**

Ferner erschien:

Studien zur Frage der Gasturbine.

Von **Rudolf Barkow**, Ingenieur. Mit 13 Figuren . . **Mk. 1.25.**

Die Aussichten der Gasturbine.

Eine eingehende Studie vom Standpunkt des Turbinenpraktikers von **Fellx Langen**, Ingenieur . . . . . **Mk. 1.—.**

DEC - 8 1921